

ESTUDIO, SIMULACIÓN Y PROPUESTA DE
MEJORA, DEL PROCESO DE FABRICACIÓN
EN SERIE DE PIEZAS EN LA CÉLULA DE
FABRICACIÓN FLEXIBLE DEL CIP VIRGEN
DEL CAMINO DE PAMPLONA.



Grado en Ingeniería
en Tecnologías Industriales

Trabajo Fin de Grado

Joseba Olcoz Larrayoz

Ángel Javier Muñoz Nieva

Pamplona, 27 de Junio del 2014

Contenido

1. RESUMEN.....	3
2. CONTEXTO TECNOLÓGICO.....	7
2.1. Sistema de fabricación flexible.....	9
2.2. Célula de fabricación flexible	10
3. DESCRIPCIÓN DE LA CÉLULA DE TRABAJO.....	13
3.1. Robot KUKA 15/2 (2002) de 6 grados de libertad	16
3.2. Torno CNC y Centro de mecanizado CNC.....	18
3.3. Soporte puente con carril-guía (TRACK)	20
3.4. Vallado de seguridad	20
3.5. Alimentador de entrada de piezas	21
3.6. Alimentador de piezas de salida	22
3.7. Comunicaciones en la célula de fabricación	22
3.7.1. Red Profibus.....	23
3.7.2. Servodriver	24
3.7.3. Autómata Siemens s7.....	26
4. PREPARACIÓN DE LA CÉLULA Y MODO DE FUNCIONAMIENTO	27
4.1. Preparación de la célula	29
4.2. Modo de funcionamiento.....	29
4.2.1. Pieza mecanizada y material empleado.....	30
4.2.2. Proceso de fabricación.	30
4.2.3. Modo de funcionamiento.....	32
5. SIMULACIÓN	35
5.1. Pasos previos a la simulación.....	37
5.2. Simulación.....	39
5.2.1. Átomos empleados.....	39
5.2.2. Model Layout	44
5.2.3. Modelo 3D.	45

5.3. Análisis resultados.....	46
5.3.1. Distribución de tiempos del Torno.....	47
5.3.2. Distribución de tiempos del Centro de Mecanizado.	48
5.3.3. Productividad de la célula.....	49
6. PROPUESTA DE MEJORA DEL PROCESO	51
6.1. Model Layout.....	56
6.2. Análisis de resultados.....	57
6.2.1. Distribución de tiempos del Torno.....	57
6.2.2. Distribución de tiempos del Centro de Mecanizado.	59
6.2.3. Productividad de la célula.....	60
7. CONCLUSIONES	63
8. BIBLIOGRAFÍA.....	67
ÍNDICE DE FIGURAS.....	71
ÍNDICE DE TABLAS	73
ANEXOS.....	75

1. RESUMEN

La célula de fabricación flexible del CIP Virgen del Camino de Pamplona consta de un torno CNC y un centro de mecanizado CNC que son alimentados de forma automática por un robot de 6 grados de libertad que se desplaza entre las dos máquinas a lo largo de una viga apoyada en dos columnas metálicas.

Un alimentador automatizado suministra al robot las piezas con las que alimenta al torno (primera operación) y al centro de mecanizado (segunda operación) para que, una vez mecanizada la pieza en el centro de mecanizado, sea depositada en el almacén de salida.

En el presente trabajo se contextualizará este modelo de fabricación y se describirán cada uno de los elementos que forman parte de la célula así como su modo de funcionamiento. Además, para la fabricación de una pieza específica se medirán los tiempos de ciclo de cada una de las máquinas, se analizarán los cuellos de botella, se simulará el proceso actual y se hará una propuesta de mejora factible.

El presente trabajo, tiene únicamente un fin docente, para mejorar el proceso de fabricación de una pieza con fines académicos.

2. CONTEXTO TECNOLÓGICO

2.1. Sistema de fabricación flexible.

El sistema de fabricación flexible es un modelo productivo alternativo al tradicional que viene empleándose estos últimos años, motivado por el cambio de la situación del mercado así como por el cambio en la demanda de productos. En la década de los 80 surgió una demanda cada vez más específica y personal por parte de los clientes, así como una mayor exigencia y competitividad a nivel global. Fue necesario pues, ofrecer una mayor variedad de productos para adaptarse a los gustos y necesidades de los clientes asegurando una garantía de calidad.

Las fábricas tradicionales, diseñadas para elaborar productos estándar en serie, se encontraron con una capacidad productiva que excedía a la demanda. Además se encontraron imposibilitados para atender a las peticiones de clientes exigentes que desean un producto más específico y personal y a un coste razonable. Es por ello que surge la necesidad de un cambio en los sistemas de fabricación y aparecen los SISTEMAS DE FABRICACIÓN FLEXIBLE.

Se habla de sistema de fabricación flexible o FMS cuando un grupo de estaciones de trabajo están conectadas entre sí por medio de un sistema de transporte de materiales con el fin de producir de manera programada y automática una serie de piezas de una misma familia. Todas las estaciones y el sistema de transporte deben ser automáticos, para permitir el control total del sistema mediante una estación central de control.

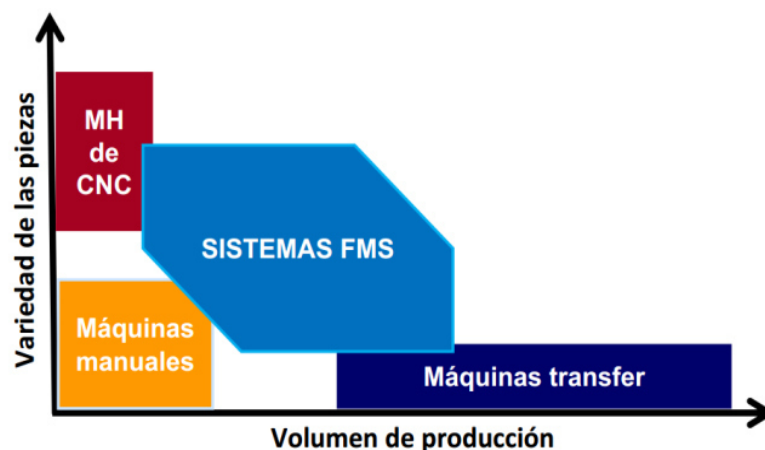


Figura 1: Ocupación de distintos sistemas de fabricación en el mercado.

Los sistemas de fabricación flexible tratan de cubrir el hueco existente en el mercado entre la producción de series unitarias o de pocas piezas diferentes y la producción masiva de piezas iguales. Los sistemas de fabricación flexible ayudan a

implantar la filosofía Just-in-Time, es decir, fabricar solo lo estrictamente necesario, cuando es necesario, con el objetivo de reducir el stock al mínimo.

Las ventajas de este sistema de fabricación son:

- Optimiza la fabricación por lotes.
- Optimiza el empleo de sistemas de amarre de piezas, herramientas, tiempos de puesta a punto...
- Se reduce el material en curso ya que solo se fabrica lo necesario.
- Mejora la gestión de la producción.

Algunos inconvenientes son:

- El alto coste inicial de equipos, sistemas de transporte, software...
- Necesidad de una reestructuración completa de la producción por familias de piezas.

2.2. Célula de fabricación flexible

Dentro de los sistemas de fabricación flexible encontramos, la célula de fabricación flexible, siendo uno de los modelos más utilizados.

Se entiende por célula de fabricación flexible, una o varias máquinas, generalmente un centro de mecanizado o un centro de torneado, complementados con dispositivos que permiten su funcionamiento. Éstas están limitadas en el tiempo, por el mecanizado completo de piezas sin la necesidad de la presencia de un operario.

Algunas condiciones de funcionamientos para una célula son:

- Existencia de piezas disponibles suficientes en palets cargados o almacenes.
- Debe disponer de un sistema de alimentación automática de piezas a las máquinas.
- Poseer un control dimensional de piezas mecanizadas, generalmente integrado en las máquinas.
- Control de codificación de palets después de la mecanización.

En el presente proyecto se realizará un estudio, mediante simulación, de la Célula de Fabricación flexible del CIP Virgen del Camino de Pamplona.

En este caso específico la célula constará de dos equipos de mecanizado: un centro de torneado y un centro de mecanizado o fresadora, ambos CNC. El sistema de transporte de piezas de los almacenes de entrada y salida, así como entre los centros se realizará mediante un brazo robotizado Kuka, el cual además, será el alimentador que cargue y descargue las piezas adecuadamente en todas las estaciones.

3. DESCRIPCIÓN DE LA CÉLULA DE TRABAJO

El CIP Virgen del Camino de Pamplona, posee una célula de fabricación automática, creada por la empresa JATORMAN, S.A. (Alsasua)

La célula de trabajo está constituida por cuatro elementos principales que son el Robot KUKA, el TRACK, el Torno CNC y el Centro de mecanizado CNC. Además como elementos complementarios están el alimentador de piezas y el almacén de piezas terminadas. Todo el control de la célula se realiza mediante un PLC, apoyado por el Control del Robot y un PC de control del track que se explicarán en el apartado de comunicación de la célula.

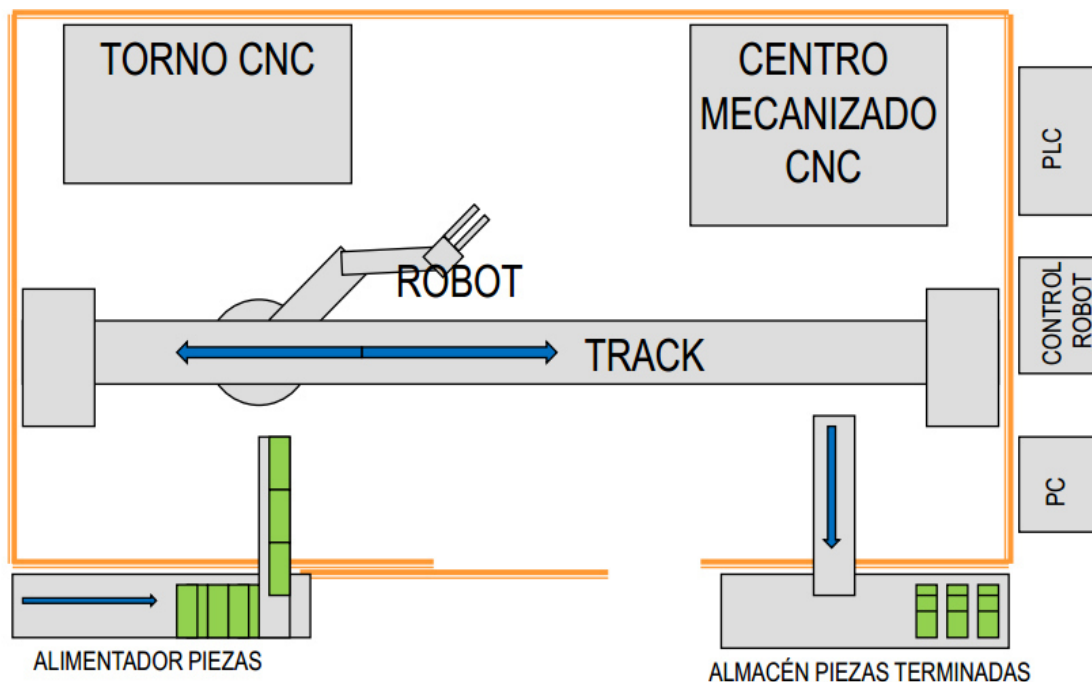


Figura 2: Esquema célula de fabricación del CIP Virgen del Camino.

Los elementos principales que constituyen la célula son:

- Robot KUKA 15/2 (2002) de 6 grados de libertad.
- Torno CNC
- Centro de mecanizado CNC.
- Soporte puente con carril-guía (TRACK).
- Alimentador de piezas de entrada.
- Almacén de piezas de salida.
- Sistema de comunicación y control de la célula:
 - Armario eléctrico de control del track.
 - Red Profibus,
 - Servodriver (con su propio PC),
 - Autómata Siemens S7

- Armario de control del KUKA.

3.1. Robot KUKA 15/2 (2002) de 6 grados de libertad

El robot KUKA es la pieza central de la célula. Se trata de un robot antropomórfico, con 6 grados de libertad, muy polivalente, usado en multitud de aplicaciones, como por ejemplo, el tratamiento de materiales, paletización, soldadura, corte... En este caso, es usado para coger del alimentador de entrada las piezas en bruto, para después, una vez mecanizada la pieza, dejarla en el alimentador de piezas de salida. Además se encarga de la carga y descarga de piezas en el torno y en el centro de mecanizado. También llevará las piezas de una máquina a otra, ayudándose el track. Todo ello es posible ya que en el extremo del brazo se sitúan dos pinzas con movimientos de abrir y cerrar.



Figura 4: Detalle de una de las pinzas de sujeción situada en el extremo del robot.

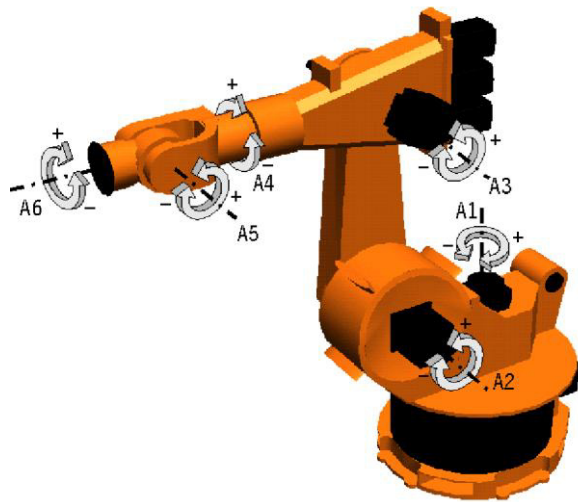


Figura 3: 6 grados de libertad del robot Kuka

El sistema robótico está formado por el Robot Antropomórfico, el Software, cables unión (tanto eléctrico como de datos), el KUKA Control Panel (KCP) y el Armario de control.

El Software es el Ordenador de unidad de control el cual posee un software especial. El control del robot se realiza mediante programas KRL. Estos programas están formados por dos ficheros:

- .SRC: contiene el código de programa, instrucciones de movimiento.

- .DAT: contiene las distintas acciones que deben ser ejecutadas por el robot, como por ejemplo abrir o cerrar las garras.



Figura 5: Robot Kuka situado en la célula

Cada programa en KRL puede constar de uno o varios archivos. Las tareas más complejas se solucionan mejor con un programa que consta de varios archivos.

El KUKA Control Panel o KCP, forma la interfaz entre persona y máquina y sirve para operar de manera sencilla la unidad de control del robot. Todos los elementos para la programación y operación del sistema de robot, con excepción del interruptor principal, se encuentran ubicados directamente en el KCP. Gracias a su forma ergonómica y peso reducido, el KCP no solamente puede ser utilizado como unidad de sobremesa sino también como aparato portátil. Además dispone de pulsadores de hombre-muerto situados en el lado inferior.

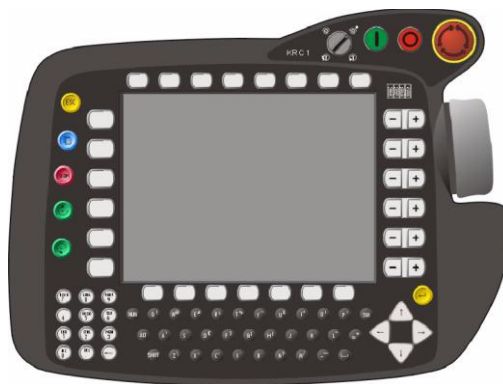


Figura 6: Kuka Control Panel (KCO)

Por su parte el Armario de control contiene un control distinto para cada uno de los 6 ejes, unas baterías y el ordenador.



Figura 7: Armario de control del Kuka: vista exterior.



Figura 8: Armario de control del Kuka: vista interior.

3.2. Torno CNC y Centro de mecanizado CNC

Tanto el torno como el centro de mecanizado o fresadora son equipos de control numérico. Ambos son dos procesos de corte de material donde el mecanizado se produce por una herramienta, con un movimiento relativo de giro entre la pieza a mecanizar y ella misma. En el caso del torno, la pieza a mecanizar es quien posee el movimiento de giro. En el caso de la fresadora sucede lo contrario ya que es la herramienta quien gira respecto a la pieza que permanece quieta.



Figura 10: Torno TBI-450 MC CNC



Figura 9: Centro de mecanizado KONDIA B-500 CNC

El torno se trata de un modelo Siemens TBI-450MC de Construcciones Mecánicas Zumárraga. Éste se caracteriza por poseer un cabezal con diámetro máximo admitido de 450 mm (siendo el diámetro máximo torneable de 300 mm), con

una velocidad de rotación máxima de 4500 rpm. La potencia del motor del cabezal es de 14.5 kW (20 CV) aunque la potencia total instalada es de 27kVA. El torno posee una capacidad de almacenamiento de 12 herramientas, lo que le permite realizar una gran cantidad de operaciones de manera automática. El equipo pesa 3750 kg aproximadamente, y sus dimensiones son 2500x1450x1700 mm (largoxanchoxalto).

El centro de mecanizado es un KONDIA B-500. Posee unas dimensiones de 1950x1990x2240 mm, con un peso de 3100 kg. La longitud del recorrido longitudinal, transversal y vertical es de 600, 400 y 380 mm respectivamente y posee una capacidad de almacenamiento de 18 herramientas. La velocidad máxima de giro es de 6000 rpm, con una capacidad del motor de giro de 7.5 kW (7.5 CV).

Ambos equipos funcionan de manera automática utilizando control Fagor 8055. Este tipo de control se aplica en mecanizado de alta velocidad, facilita la puesta a punto de la máquina y el control por parte de los usuarios. Además posee dos lenguajes de programación:

- Lenguaje ISO para las grandes series de piezas, donde se prima la optimización del programa para conseguir que el tiempo de ejecución sea lo más corto posible.
- Lenguaje conversacional para series reducidas o piezas unitarias. Está concebido para aquellos talleres donde el tiempo de programación es un elemento crítico.

Dado que lo que se busca es la no intervención humana en el proceso de fabricación de las piezas es necesario complementar la fresadora con dos dispositivos adicionales. Por una parte se incluye un sensor óptico para confirmar que se ha introducido correctamente la pieza en el centro de mecanizado. Por otra parte, se ha incluido un cilindro neumático cuya función es provocar, con su salida o retroceso, el accionamiento del pedal que activa la bomba oleoneumática que acciona la mordaza que sujeta la pieza a mecanizar.

Para que el cilindro junto con el pedal no vuelva de una forma brusca a su origen, se ha colocado encima del pedal un sistema de gancho-muelle, que hace que el retroceso sea más lento y controlado.

3.3. Soporte puente con carril-guía (TRACK)

El track, es una estructura rígida, sobre la que va sujeto el brazo robótico. Éste permite el desplazamiento longitudinal del robot entre los cuatro puestos de la célula (la entrada, la salida, el torno y el centro de mecanizado) gracias a un carril guía de acero con un carro con 4 hileras de bolas, amarrado a una gran viga metálica apoyada en dos robustos pilares.



Figura 11: Reductora y servomotor.

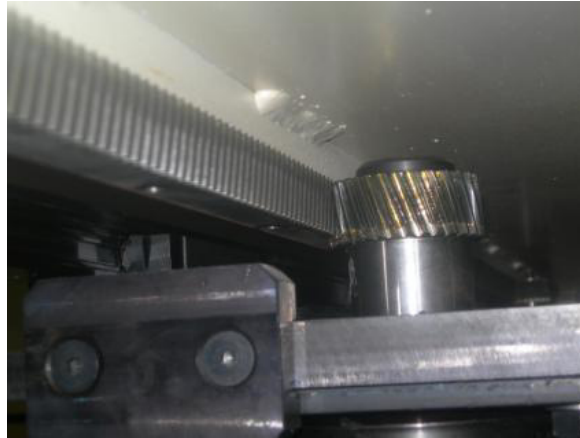


Figura 12: Mecanismo piñón-cremallera.

El movimiento del robot en el TRACK se consigue gracias a un servomotor-reductor, de gran capacidad de sobrecarga y trabajo suave, el cual desplaza el robot a lo largo de carril guía mediante un mecanismo piñón-cremallera.

3.4. Vallado de seguridad

Toda la célula está rodeada de un cerramiento de seguridad con dos accesos desde el exterior: una puerta abatible y una corredera. Las dimensiones de la célula que coinciden con las del vallado de seguridad son 2710 mm de anchura, 6720 mm de largo y 2000 mm de alto.

Ambas poseen enclavamiento eléctrico. Para que la célula pueda funcionar en modo automático, ambas puertas deben estar cerradas, para garantizar la seguridad del usuario o supervisor de la célula. En caso contrario el sistema no arrancará o se detendrá.

En el exterior del vallado se encuentran el armario de control, el armario del Kuka así como el PC de control del track.



Figura 13: Detalle vallado seguridad y Track.

3.5. Alimentador de entrada de piezas

El alimentador de entrada de piezas es el primer puesto de la célula y por el cual entran a la célula las piezas en bruto a mecanizar. Está constituido por:

- Un bastidor, formado por perfil estructural y canales de guiado de las piezas en bruto.
- Un sistema de retención de piezas formado por un cilindro neumático.
- Un detector eléctrico de proximidad con alcance de 5 mm.
- Un regulador de presión con manómetros que regula la presión del cilindro neumático.



Figura 15: Alimentador de piezas de entrada: vista exterior.



Figura 14: Alimentador de piezas de entrada: vista interior.

El sistema de alimentación posee una capacidad de 15 piezas (considerando el diámetro del cilindro de 50 mm).

3.6. Alimentador de piezas de salida

El alimentador de piezas de salida es el último puesto de la célula, y por la cual las piezas ya mecanizadas y acabadas son expulsadas de la célula. Está compuesto por:

- Un bastidor, fabricado con un perfil estructural y canales para el guiado de las piezas acabadas.
- Una guía para guiar las piezas que mediante su giro caigan a la bandeja. Lleva un cilindro de Ø16x50 mm de carrera.
- Una cinta transportadora para recoger, desplazar y almacenar las piezas.



Figura 16: Alimentador de pieza de salida: cinta transportadora.

La cinta transportadora, posee una capacidad de almacenamiento de piezas acabadas superior a la capacidad de almacenamiento del almacén de entrada, por lo que podrá almacenar todas las piezas mecanizadas.

3.7. Comunicaciones en la célula de fabricación

Existen multitud de dispositivos, necesarios para que la célula funcione correctamente. Los elementos que componen el sistema de comunicaciones son: la Red Profibus, el Servodriver (con su propio PC), el Autómata Siemens S7, el armario de control del track y el armario de control del KUKA.

3.7.1. Red Profibus

La red de comunicaciones de la célula utiliza el sistema Profibus, que es un potente, abierto y robusto sistema de bus para la comunicación de proceso y de campo en redes de células con pocas estaciones y para la comunicación de datos según las especificaciones IEC 61158/EN 50170.

La comunicación entre los distintos dispositivos de la célula se realiza con el cable Profibus. Los dispositivos comunicados son:

- PLC
- Servodriver
- Controlador del robot



Figura 17: Cable Profibus

De las múltiples versiones existentes de red Profibus, el implementado en este proceso productivo es el PROFIBUS-DP (Profibus de periferia descentralizada). Este modelo se suele emplear en el control de una célula de trabajo que puede trabajar a distintas velocidades (9.6, 19.2, 45.45, 93.75, 187.5 y 500 kbps; y de 1.5, 3.0, 6.0 y 12.0 Mbps), como medio físico de transmisión emplea par trenzado o fibra óptica (para esta célula se escoge el par trenzado puesto que las distancias entre los equipos no son muy grandes y no se requiere de las velocidades tan altas que ofrece el cable de fibra óptica). Acepta hasta 30 nodos pudiendo llegar hasta 126 con repetidores.

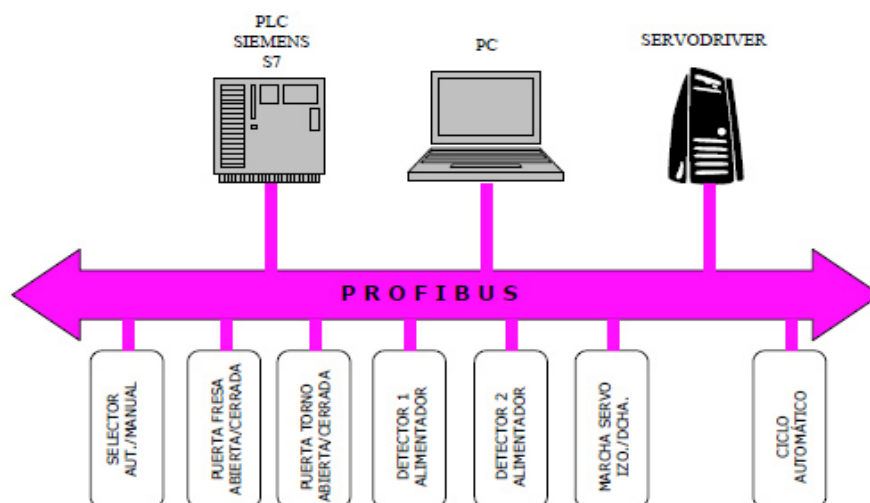


Figura 18: Red Profibus de la célula

En cuanto al acceso al medio de Profibus se implementa el sistema: Token ring, que consiste en un anillo lógico de varios maestros con sus esclavos. Como se observa en la imagen encontramos los maestros PLC, servodriver y el PC que controla el movimiento del ordenador.

Los maestros son estaciones activas que tienen permiso para enviar mensajes cuando reciben el testigo. Habitualmente desempeñan esta función los PLC y los PC. Además pueden actuar como esclavos dependiendo de cómo los configure el usuario.

Los esclavos son estaciones pasivas capaces de responder cuando su maestro les envía un mensaje. Típicamente son sensores y actuadores. Además tienen tiempos de respuesta muy rápidos.

Los mensajes que se envían son cíclicos y se emplea tráfico en tiempo real para datos de alta prioridad.

Los mensajes enviados por una red Profibus, poseen un encabezado de 12bytes y una trama de hasta 256 byte.

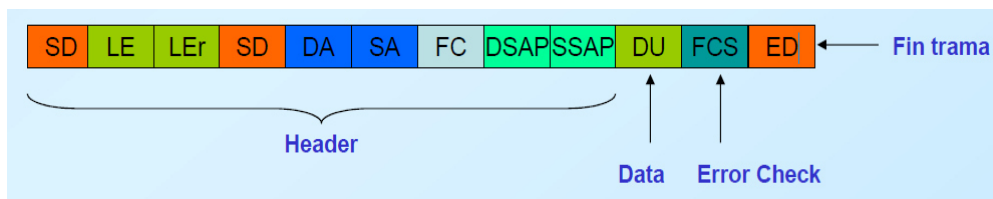


Figura 19: Trama de una red Profibus

3.7.2. Servodriver

Para desplazar el robot KUKA, con el fin llevar las piezas de un puesto a otro, es necesario añadir un dispositivo adicional al Armario de control del KUKA ya que este último, únicamente puede controlar el movimiento de los 6 ejes.

El servodriver es un elemento que es programable mediante un software propio (DRI-VE.EXE) desde un ordenador personal a través de una salida serie RS232, y el cual permite controlar y programar el desplazamiento del robot a lo largo del carril-guía (TRACK).

El esquema de conexiones del servo sistema es el que se presenta a continuación:

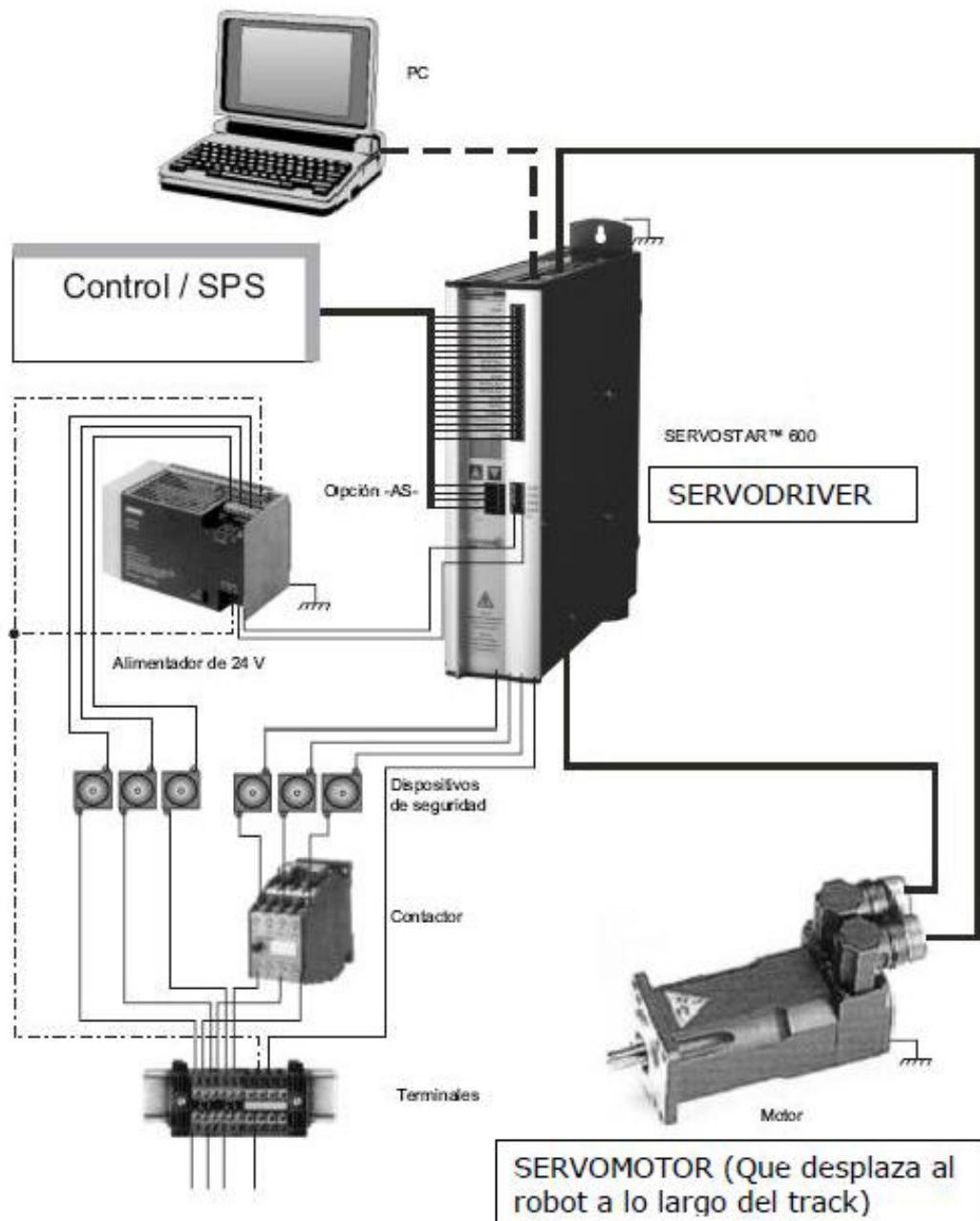


Figura 20: Esquema del servosistema de la célula

El desplazamiento se produce gracias a un servomotor que lleva acoplado un reductor mediante una brida, en cuyo eje aloja un piñón helicoidal que al girar desplaza el robot mediante el mecanismo piñón-cremallera.

3.7.3. Autómata Siemens s7

Se define PLC (Programmable Logic Controller) como una computadora utilizada en la ingeniería automática o automatización industrial, para automatizar procesos electromecánicos, tales como el control de la maquinaria de la fábrica en líneas de montaje o atracciones mecánicas. A diferencia de las computadoras de propósito general, el PLC está diseñado para múltiples señales de entrada y de salida, rangos de temperatura ampliados, inmunidad al ruido eléctrico y resistencia a la vibración y al impacto

Una de las principales ventajas de los PLC es que es gracias a ellos es posible ahorrar tiempo al modificar un proyecto. Además son de tamaño reducido, tienen un bajo costo de mantenimiento, ahorran mano de obra y es posible controlar varios dispositivos con un solo terminal. Sin embargo se precisa de unos conocimientos técnicos necesarios para ocuparse de su puesta en marcha y correcto funcionamiento.

En nuestro caso se dispone de un PLC Siemens S7-300 dirigido a aplicaciones industriales de gama media. Las principales características de este PLC son las siguientes:

- Memoria de trabajo de 6 Kbytes.
- Memoria de carga RAM integrada de 20 Kbytes.
- Velocidad aproximada de 0.7 mseg por cada 1000 instrucciones binarias.
- 10 entradas digitales, de ellas 4 pueden utilizarse como entradas para funciones especiales.
- 6 salidas digitales
- Si se utiliza un periférico externo se puede disponer de 128 entradas digitales, 128 salidas digitales y 32 puntos de entradas/salidas analógicas,
- No precisa de mantenimiento.

3.7.4. Armario eléctrico de control del track

En el interior de armario eléctrico se encuentra tanto del autómata Siemens S7, como el Servodriver, el cual controla el movimiento del TRACK.

Sobre la puerta se encuentran los interruptores de control automático o manual, parada de emergencia, Reset entre otros.

4. PREPARACIÓN DE LA CÉLULA Y MODO DE FUNCIONAMIENTO

4.1. Preparación de la célula

Para conseguir que la célula trabaje de manera automática un número determinado de ciclos, o durante un periodo de trabajo estipulado, primero es necesario realizar una serie de operaciones de puesta a punto de las estaciones.

Primero hay que asegurarse de que los equipos se encuentren en óptimas condiciones de funcionamiento. Para ello es necesario realizar las acciones de mantenimiento correspondientes periódicamente. Algunas son:

- Engrase mensual de las bisagras del vallado de seguridad.
- Cambio de aceite de la mordaza hidráulica y la bomba oleoneumática.
- Regular la presión del accionamiento neumático de la bomba para la mordaza y del alimentador de piezas de salida y entrada.

En cuanto a seguridad e higiene hay que considerar:

- Como norma general, no hay que manipular el sistema eléctrico y neumático, siempre y cuando no haya que hacer una parada de emergencia, en cuyo caso actuaremos sobre la seta.
- Es necesario mantener los vástagos de los cilindros bien limpios para su correcto funcionamiento.
- Los elementos materiales y personales, se mantendrán fuera del alcance del lugar donde actúan las máquinas.
- Hay que mantener la instalación limpia de posibles suciedades. Cuidar que los detectores estén limpios para una buena detección de las piezas.
- Revisar visual y auditivamente el sistema neumático y sus conexiones para comprobar que no poseen escapes.

4.2. Modo de funcionamiento

Para la realización del presente proyecto, se ha optado por seleccionar un proceso específico de producción de una pieza en particular, cuyo único fin es académico. El proceso de mecanizado que sufre la pieza es el que se describe a continuación. Se elige el producto que se desea fabricar y el material a emplear. Posteriormente se fijan los pasos necesarios que debe realizar la célula.

4.2.1. Pieza mecanizada y material empleado.

Se parte de una pieza cilíndrica de 120 mm de largo y 50 mm de diámetro. La pieza está fabricada de aluminio. Hay que tener en cuenta que el aluminio al tratarse de un material blando requiere unos esfuerzos de mecanizado menores. Sin embargo, su alta ductilidad puede ser un gran inconveniente ya que produce una viruta continua que puede enredarse alrededor de la herramienta del torno. Además, al tratarse de un material blando puede producirse acumulación de material en el filo de corte de la plaquita, provocando un peor acabado superficial.

Para la selección del material, se ha consultado a la empresa ALUMAFEL, experta en la fabricación de elementos de aluminio para la construcción y la industria. Se opta por un aluminio de la serie 2030 caracterizado por poseer un 4-5 % de Cu, además de otros aleantes como magnesio y manganeso. La composición química es la siguiente:

COMPOSICIÓN QUÍMICA (EN 573-3)

%	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Ti	Ga	V	Notas	Otros		aluminio mín.
													Cada	Total	
mín.	-	-	3,3	0,2	0,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
máx.	0,8	0,7	4,5	1,0	1,3	0,1	-	0,5	0,2	-	-	0,2Bi ; 0,8-1,5Pb	0,1	0,3	Resto

Figura 21: composición química del aluminio serie 2030.

Se selecciona del catálogo de la empresa ALUMAFEL, una barra cilíndrica calibrada, cuyas propiedades mecánicas son:

BARRA CALBRADA (EN 754-2)

Estado de Tratamiento	Dimensiones mm		R _m MPa		R _{p0,2} MPa		A%	A _{50mm} %
	D ⁽¹⁾	S ⁽²⁾	mín.	máx.	mín.	máx.	mín.	mín.
T3 ⁽³⁾	≤30	≤30	370	-	240	-	7	5
	30<D≤80	30<S≤80	340	-	220	-	6	-
T351 ⁽³⁾	≤80	≤80	370	-	240	-	5	3

Figura 22: propiedades del aluminio serie 2030 en barra calibrada.

El aluminio posee una resistencia a tracción de 340 MPa y un límite elástico de 220 MPa. Ambas para una barra con tratamiento T3, es decir, un tratamiento de endurecimiento estable que consiste en un tratamiento térmico en solución, trabajado en frío y envejecido natural.

4.2.2. Proceso de fabricación.

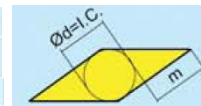
El primer proceso de mecanizado que se aplica sobre la pieza se da en el torno. El proceso se realiza en 4 pasos:

1. Primero realiza un refrentado de 1 mm que sirve para mecanizar la superficie plana en el extremo de la pieza.
2. Después realiza un cilindrado de radio 24 mm, a lo largo de una longitud de 44.5 mm.
3. Se le aplica una última pasada de acabado para obtener un buen acabado superficial.
4. Finalmente realiza un achaflanado de 1.5 mm x 45°.

La herramienta de corte que se puede utilizar para realizar todas estas operaciones es una plaquita intercambiable para torneado DCGT 55 ° Positiva para aluminio de la casa IZAR. El código es el siguiente: DCGT-11T304-AL-P16.

- D = forma de la plaquita: rombo con ángulo menor de 55 °.
- C = ángulo de incidencia: 7 °.
- G = tolerancia: nivel medio.

Símbolo / Symbol / Symbole	Tolerancias / Tolerances / Tolérances [mm]		
	m (±)	s (±)	d = I.C. (±)
G	0,025	0,130	0,025



- T = tipo de plaquita.



- 11 = longitud del filo de corte (lado del rombo): 11 mm.
- T3 = espesor de la plaquita: 3.97 mm.
- 04 = radio de vertice: 0.4 mm

El siguiente proceso de mecanizado se da en la fresadora. Se realiza en 3 pasos:

1. Primero se realiza un punteado, con una herramienta de puntear, que servirá de guía para realizar los 6 taladrados sobre la superficie plana del extremo de la pieza
2. Se pasa a realizar el taladrado con una broca de diámetro 4mm. La profundidad de los agujeros será de 6 mm.
3. El último paso será realizar una cajera circular. Para ello se utilizará una fresa de corte frontal. Por ejemplo una fresa de desbaste fino PMX DIN844NRf NZ con 4 filos de corte y de diámetro 10 mm.
 - PMX = tipo de material/recubrimiento
 - DIN 844 = designación normalizada del tipo de fresa.

- NZ = corte centro.
- Ángulo de hélice de 30 °.
- Ángulo fresa recta chaflán 45 °.
- Desbaste fino

Los pasos descritos anteriormente, únicamente producen el mecanizado en la mitad de la pieza por lo que para fabricar la pieza por completo será necesario girar el cilindro e introducirla al torno y a la fresadora, sujetándola por la parte ya mecanizada.

La pieza resultante, tras acabar ambos procesos de mecanizado es la siguiente:

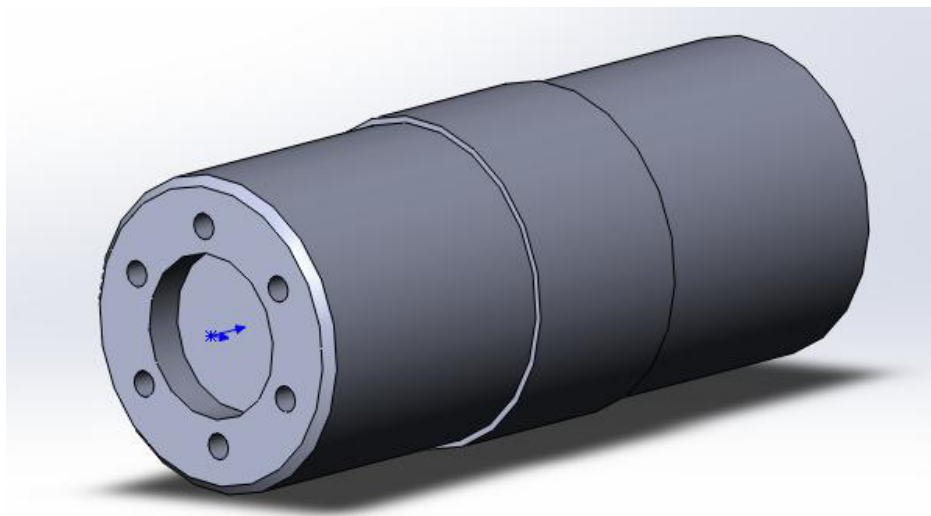


Figura 23: Pieza terminada, tras su paso por la célula.

Se adjunta el plano de la pieza en el apartado Anexos.

4.2.3. Modo de funcionamiento.

Tras comprobar que la célula se encuentra en buenas condiciones para trabajar, antes de comenzar el ciclo automático se realiza una prueba manual, paso a paso de cada uno de los programas que forman el ciclo completo. De este modo por ejemplo se realiza el reglaje al torno y a la fresadora, para poner a cero de pieza el equipo y se comprueba que cada movimiento que realiza el brazo robótico Kuka está bien programado y funciona correctamente.

La secuencia de programas a comprobar, dependerá de la pieza que se desee mecanizar. Para la pieza anteriormente descrita, el proceso es el que se presenta a continuación.

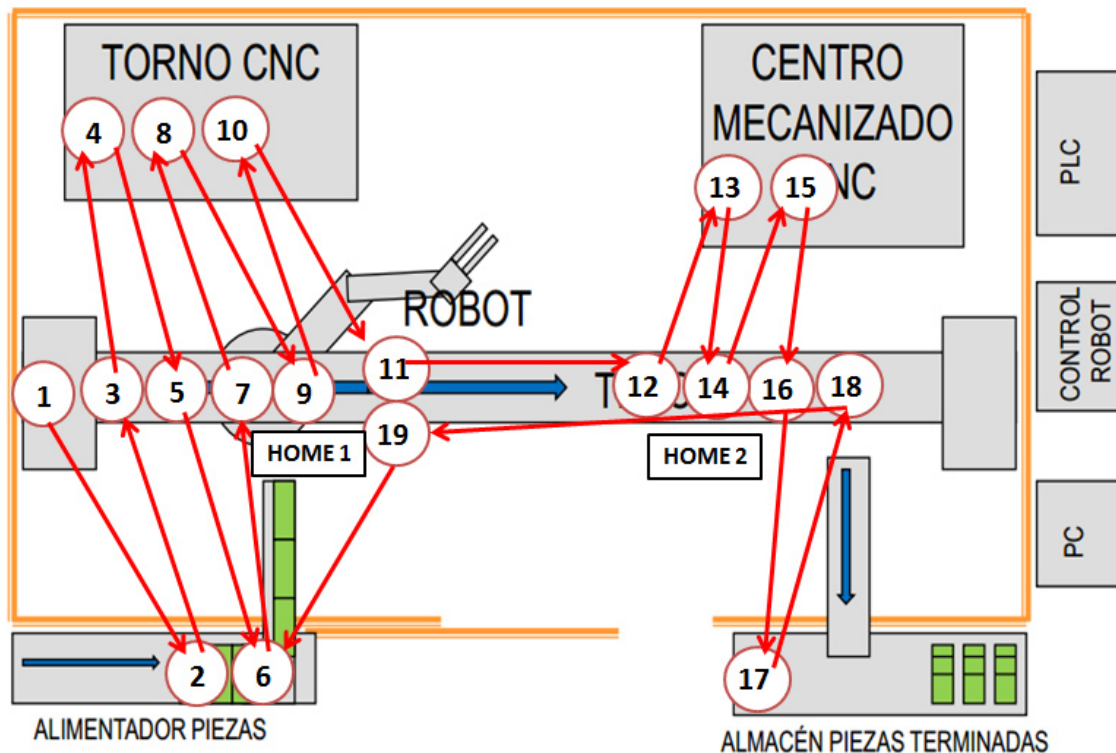


Figura 24: Diagrama de flujo de las piezas.

Los programas paso a paso que se deben comprobar son los siguientes:

Posición en el diagrama de flujo	Operación
1-2-3	El robot coge la pieza del alimentador de piezas con la garra 1 va hasta la posición HOME1*
2-3	El robot introduce la pieza en el torno CNC
4-5	El robot sale del torno sin la pieza hasta la posición HOME.
5-6-7	<ul style="list-style-type: none"> El robot, repite la operación 1, cogiendo una nueva pieza y volviendo a la posición HOME1. Después espera a que el torno finalice. El torno CNC mecaniza la pieza.
7-8-9	Robot coge la pieza mecanizada del torno CNC con la pinza 2 y vuelva a la posición HOME1.
9-10	El robot introduce la pieza sin mecanizar de la pinza 1 en el torno CNC.

10-11	El robot vuelve a la posición HOME1, solo con la pieza mecanizada en la pinza 2 y el torno comienza a mecanizar la pieza.
11-12-13	El robot lleva la pieza desde la posición HOME1 hasta la fresadora CNC y la introduce en la fresadora.
13-14	El robot sale de la fresadora sin la pieza hasta la posición HOME2.
14.	La fresadora mecaniza la pieza. Mientras el robot espera a que termine.
14-15-16	El robot coge la pieza de la fresadora y vuelva a la posición HOME2.
16-17	El robot suelta la pieza ya finalizada en el almacén de piezas terminadas.
17-18.19	El robot vuelve a la posición HOME1 junto al alimentador de piezas.
	Se repite el ciclo continuamente partiendo de la posición 6.

Tabla 1: Modo de funcionamiento de la célula.

En la posición Home, el robot se encuentra situado bajo el track. Esta posición es definida, ya que después de cada proceso de carga o descarga de piezas, el robot debe ir a esa posición. La posición Home es además la zona de seguridad del robot, es decir, hasta que el robot no está en esta posición, tanto el torno como el centro de mecanizado no comienzan a funcionar.

Para ayudar a comprender el funcionamiento de la Simulación que viene a continuación es necesario aclarar que en lo sucesivo a la posición Home se le asignará dos valores:

- **Home 1:** cuando el robot se encuentre situado bajo el track, alineado con el torno.
- **Home 2:** cuando el robot se encuentre situado bajo el track, alineado con el centro de mecanizado.

5. SIMULACIÓN

Para analizar el proceso que lleva a cabo la célula, se ha realizado una simulación, considerando que la célula trabaja 10 turnos en una semana, teniendo cada turno una duración de 8 horas.

Para ello se ha utilizado el programa de simulación Enterprise Dynamics 9 Student Starter de la empresa Incontrol. Para comprender el funcionamiento del programa se define el concepto de Átomo y Canal.

Todos los elementos que se incluyen en el modelo simulado son átomos, ya sean los equipos que constituyen el proceso, así como los productos que se van a fabricar, los medios de transporte, sistemas de apoyo para la visualización 3D. Un átomo puede contener a otro átomo, y los átomos pueden moverse de un átomo a otro, se pueden crear y destruir. Además son elementos 4D (coordenadas espaciales x, y, z, y el tiempo).

Por otro lado están los Canales, los cuales establecen las direcciones del flujo de átomos entre unos y otros.

Las unidades de medida predefinidas son el segundo como unidad de tiempo y el metro como unidad de longitud.

5.1. Pasos previos a la simulación

El primer paso antes de comenzar con la simulación ha sido describir y analizar el problema así como la definición de unos objetivos claros. En este caso, tras supervisar el comportamiento de la célula se ha observado, que no trabaja óptimamente y se desea conocer con mayor profundidad cuál es su modo de trabajo. Se quiere analizar el proceso, buscando la existencia de cuellos de botella y proponer mejoras incluyendo nuevos elementos en la célula si se considera necesario.

Una vez se ha decidido, que realizar una simulación del proceso, es una buena opción de estudio, ha sido necesario acudir al centro CIP Virgen del Camino para tomar las dimensiones de la célula así como los tiempos de cada una de las actividades que realiza para ajustar la simulación, lo más posible a la realidad.

Una vez descrito los pasos que realiza el torno y la fresadora, se ha procedido a la toma de tiempos de todos los elementos de la célula, ya sean tiempos de mecanizado, tiempos de carga, de descarga o de desplazamiento del robot Kuka.

Los tiempos de ciclo de cada uno de estos procesos son:

	Operación	Tiempo de ciclo	Tiempo transcurrido
1.	El robot coge la pieza del alimentador de piezas con la garra 1 va hasta la posición HOME 1.	15 s	0 : 15
2.	El robot introduce la pieza en el torno CNC	28 s	0 : 43
3.	El robot sale del torno sin la pieza hasta la posición HOME 1.	15 s	0 : 58
4.	<ul style="list-style-type: none"> El robot, repite la operación 1, cogiendo una nueva pieza y volviendo a la posición HOME 1. Después espera a que el torno finalice. El torno CNC mecaniza la pieza. 	<ul style="list-style-type: none"> 15 s 75 s 	2 : 13
5.	Robot coge la pieza mecanizada del torno CNC con la pinza 2 y vuelva a la posición HOME 1.	25 s	2 : 38
6.	El robot introduce la pieza sin mecanizar de la pinza 1 en el torno CNC.	28 s	3: 06
7.	El robot vuelva a la posición HOME 1, solo con la pieza mecanizada en la pinza 2 y el torno comienza a mecanizar la pieza.	15 s	3 : 21
8.	El robot lleva la pieza desde la posición HOME 2 hasta la fresadora CNC y la introduce en la fresadora.	40 s	4 : 01
9.	El robot sale de la fresadora sin la pieza hasta la posición HOME 2.	20 s	4 : 21
10.	La fresadora mecaniza la pieza. Mientras el robot espera a que termine.	126 s	6 : 27
11.	El robot coge la pieza de la fresadora y vuelva a la posición HOME 2.	40 s	7 : 07
12.	El robot suelta la pieza ya finalizada en el almacén de piezas terminadas.	25 s	7 : 32
13.	El robot vuelve a la posición HOME 1 junto al alimentador de piezas.	5 s	7 : 37

14.	El robot coge la pieza del alimentador de piezas con la garra 1 va hasta la posición HOME 1.	15 s	7 : 52
	Se repite el ciclo continuamente partiendo de la operación 5.	339 s (5 min 39 s)	

Tabla 2: Tiempos de ciclo de las distintas operaciones.

Se observa que el primer ciclo completo tiene una duración de 7 min 52 segundos. El resto de ciclos, tendrá una duración de 5 min y 39 segundos, frecuencia con la que se fabricará una nueva pieza.

En este proceso sólo se mecaniza la mitad de la pieza, por lo que para obtener la pieza mecanizada por completo, una vez ha salido al almacén de salida, es necesario volver a introducirla en el alimentador de piezas de entrada.

5.2. Simulación.

El siguiente paso es construir el modelo y validarlo: en nuestro caso, se utilizará el programa informático Enterprise Dynamics. Se ha tratado de simular la célula, ajustándose lo más posible a la realidad, teniendo en cuenta las limitaciones del programa.

5.2.1. Átomos empleados.

Los átomos que se han empleado en el modelo son:

- 1) **Átomo Product:** el cual es llamado *Cilindro*. Representa las piezas que se van a mecanizar. Se asigna una pieza cilíndrica gris de dimensiones 0.6x0.4x0.4 m para obtener una buena visualización del producto, aunque el tamaño real es 0.2x0.05x0.05.
- 2) **Átomo Source:** su función es generar productos en el modelo. Se le llama *Entrada*. No ha sido necesario introducir ninguna variable, (ni el tiempo de espera antes de empezar, ni el tiempo entre piezas a la salida) ya que la célula se ha programado de modo que en el momento que el robot deba coger la pieza ésta ya está disponible. El tiempo entre piezas es de 10 s por defecto.

3) **Átomo Robot:** es un átomo de transporte que representa al robot Kuka. El programa solo permite asignar una velocidad constante de giro, un tiempo de carga y otro de descarga. Esto resulta ser un gran inconveniente, porque para simular el comportamiento real es necesario asignar múltiples velocidades, y tiempos de carga y descarga, uno distinto para cada operación. Tras consultar con el servicio de apoyo que ofrece Incontrol a través de su página web y tras consultarlo en el foro de esta misma página la solución que se ha optado ha sido la utilización de múltiples robots, uno para cada operación. De este modo se ha logrado asignar los tiempos a la perfección.

- *Robot1:* encargado de coger las piezas del alimentador y llevarlas hasta la posición *Home 1 entrada*. Se ha configurado con una velocidad de 12 rad/s. Dado que el ángulo de giro es de 180° el tiempo que tarda en hacer este movimiento es de 15 s.
- *Carga:* su función es introducir la pieza al torno y volver a la posición *Home1 entrada*. En este caso, para obtener el tiempo deseado, y ya que el robot no vuelve solo a la posición de origen, se ha configurado una velocidad muy alta y el tiempo de esta operación se le ha asignado al tiempo de descarga, que es de 43 s.
- *Descarga:* se encarga de sacar la pieza torneada y llevarla al *Home 1 salida*. Se ha definido una velocidad de 7.2 rad/s, ya que el ángulo es de 180° y el tiempo es de 25 s.
- *Retenedor:* su función es contener la pieza acabada, mientras el robot *Carga* introduce la nueva pieza a mecanizar y vuelve a la posición *Home1 entrada*. De esta forma la pieza va hacia la fresadora justo cuando el torno empieza a funcionar.

En la zona de la fresadora, encontramos nuevamente los átomos Carga, Descarga y Robot 2:

- *Carga:* en este caso este va del *Home 2 entrada* a la fresadora y vuelve al Home. Nuevamente se le ha asignado una velocidad muy grande y un tiempo de descarga de 55 s.

- *Descarga*: lleva la pieza terminada de la fresadora a la posición *Home 2 salida*. El ángulo girado es de 180° , luego la velocidad es 4.5 rad/ s y un tiempo de 40 s.
- *Robot2*: lleva la pieza acabada de la posición *Home 2 salida* al almacén de salida de piezas. El tiempo asignado es el de descarga que es de 45 s.

Hay que considerar que todos estos robots, representan a un único robot Kuka en la realidad. Para que todos los robots juntos funcionen como uno sólo, ha sido necesario realizar la simulación de modo que un único robot está en funcionamiento de vez. Este requerimiento se cumple en todo momento excepto en los primeros pasos ya que los robots *Robot1* y *Descarga*, actúan de vez. Esto provoca que el ciclo se adelante 5 s. Para evitarlo se ha considerado que el tiempo de descarga del Robot 2, que en realidad debería ser 40 s, se le ha asignado 45 s, por lo que el tiempo global del ciclo se cumple a la perfección, siendo éste el de mayor interés para conocer la productividad total de la célula. Esta forma de simulación no representa al 100 % el funcionamiento de la célula pero no afecta a los resultados que se desean analizar

- 4) **Átomo Accumulating Conveyor**: dado que no es posible desplazar el átomo Robot, para realizar el desplazamiento de las piezas a través del Track, desde el Home1 hasta el Home 2 se ha utilizado este átomo, al que se le llama *Track*. Este átomo se comporta como una cinta transportadora o rodillos. Para cumplir el tiempo de desplazamiento del Track de 5 s, se le ha asignado una velocidad de 0.6 m/s (considerando la distancia recorrida del Kuka a lo largo del Track de 3 m).
- 5) **Átomo Server**: poseen la función de máquina. Los átomos que entran en este átomo sufren un proceso y permanecen un tiempo de procesado. Se han incluido dos átomos Server en la célula:
 - *Torno CNC*: representa el Torno de la célula y se le ha asignado el tiempo de ciclo de 75 s. Con el trigger se le ha modificado el color al cilindro, de gris a amarillo para simular que se ha realizado una tarea sobre él.

- *Centro de Mecanizado CNC*: es el centro de mecanizado, con un tiempo de ciclo de 126 s. Nuevamente se le ha configurado un trigger que cambia el color de la pieza de amarillo a rojo.

Tanto al Torno como al Centro de Mecanizado se le ha asignado un MTTF (Mean Time To Failure o Tiempo Medio entre Paradas) y un MTTR (Mean Time To Repair o Tiempo Medio de Reparación). Para asignar ambos valores se ha estimado un 2% de paradas en cada máquina por averías. Considerando que se va a realizar la simulación de 80 h (10 turnos de 8 h cada uno), el tiempo de reparación MTTR será el 2% del tiempo que la máquina esté parada, siendo de 5760 s. Por otro lado, el MTTF será el tiempo restante, 282240 s. Ambas se incluyen como función exponencial negativa.

- 6) **Átomo Queue**: son áreas de espera para los productos o almacenes. En el modelo se han introducido 5 átomo de este tipo:

- *Almacén Salida*: representa el almacén de piezas terminadas. En este caso, dado que la capacidad de almacenamiento real es de 15 piezas, se ha programado el trigger de entrada, utilizando el lenguaje propio del programa para que sea vaciada cuando contenga 10 piezas.
- *Home1 entrada*: es la posición Home1 para el átomo *Robot1*.
- *Home 1 salida*: es la posición Home 1 para el átomo *Retenedor*.
- *Home 2 entrada*: posición de Home2 del átomo *Carga*.
- *Home 2 salida*: posición del Home2 del átomo *Robot2*.

Aunque en la realidad los últimos 4 almacenes no existen, ha sido necesario colocarlos ya que el átomo Robot, no puede volver automáticamente a la posición de origen, comportamiento que toma el Kuka en la realidad. Colocando estos cuatro *queue*, se consigue controlar el movimiento del brazo y nos aseguramos que el intercambio de piezas se produzca en la posición Home 2, garantizando el cumplimiento de los tiempos.

- 7) **Átomo Sink:** los productos almacenados en *Almacén Salida* abandonan el modelo a través de este átomo en grupos de 10. Se le ha llamado *Operario* ya que es una persona la que vacía el almacén de piezas terminadas.
- 8) **Átomos Lock-Unlock:** estos átomos permiten controlar el flujo de productos. En este caso se han necesitado 4 parejas:
- *Color Blanco:* controlan la cantidad máxima de piezas dentro de la célula. El número de piezas máximo es de 2.
 - *Color Marrón:* estos evitan que el robot Robot 1, coja una nueva pieza del alimentador de piezas de entrada, hasta que el robot Carga, haya introducido la pieza en el robot y haya vuelto a la posición Home 1. Para ello se le ha asignado una cantidad máxima de producto entre el almacén de salida y el torno de 1 pieza.
 - *Color Rosa:* evita que el brazo carga vaya hacia el torno, y de este modo espera en la posición de Home 1, hasta que llega el momento de cargar el torno con una nueva pieza. El máximo número de piezas es 1.
 - *Color Azul:* evita que la pieza del torno una vez terminada vaya a la zona de la fresadora automáticamente, sino que espera dentro del torno. Con este Lock-Unlock se consigue que en la zona del centro de mecanizado únicamente haya una sola pieza. El máximo número de piezas es 1.

Además de los átomos antes expuestos, se han añadido otros átomos que aunque no son imprescindibles para realizar la simulación, ayudan a construir una visualización 3D más real.

- 9) **Átomo VR Plane:** permite visualizar el suelo de la célula.

- 10) **Átomo VR Wall:** permite visualizar el cerramiento de reja de la célula.

5.2.2. Model Layout

Una vez que se han configurado los átomos de manera adecuada, hay que establecer la conexión entre ellos. Para ello en el Model Layout se muestran los Channels o canales de conexión entre ellos. La conexión de los canales se muestra a continuación:

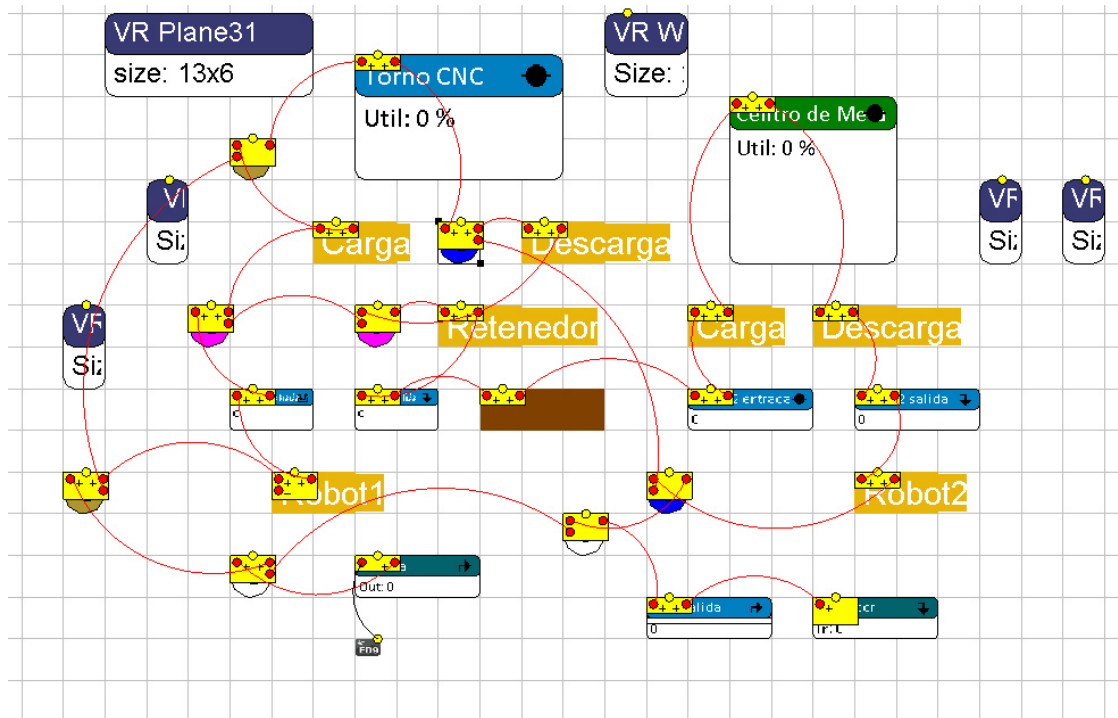


Figura 25: Diagrama de conexiones del modelo.

La posición de los átomos en el Layout o en la vista 2D de la célula afecta al modo de funcionamiento del conjunto. Por ello es necesario colocar correctamente cada átomo en el Layout. Esto es así ya que los brazos robóticos se han configurado para la realización de unos ángulos de giro fijos. Si por ejemplo, los átomos *Entrada* y *Robot1* no se encuentran alineados, el ángulo del Robot sería distinto a 180° , luego su tiempo cambiaría, afectando al tiempo de ciclo total de la célula. Considerando esto, el plano de la célula queda del siguiente modo:

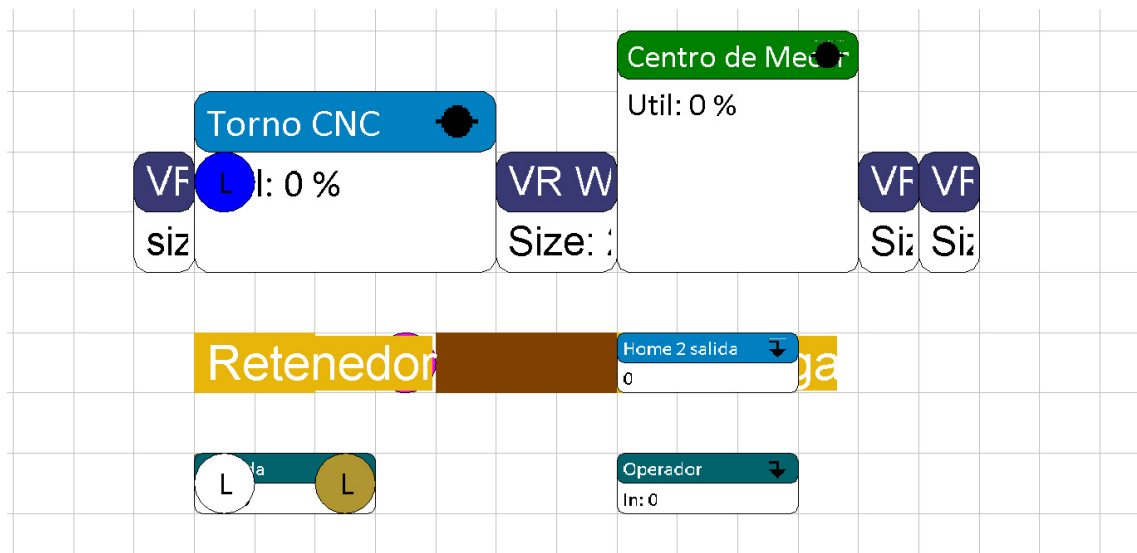


Figura 26: Model Layout del modelo.

5.2.3. Modelo 3D.

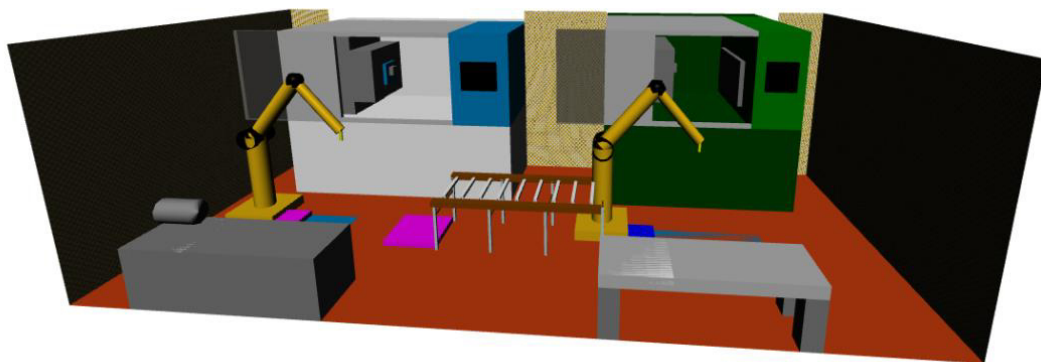


Figura 28: Vista -3D de la Célula

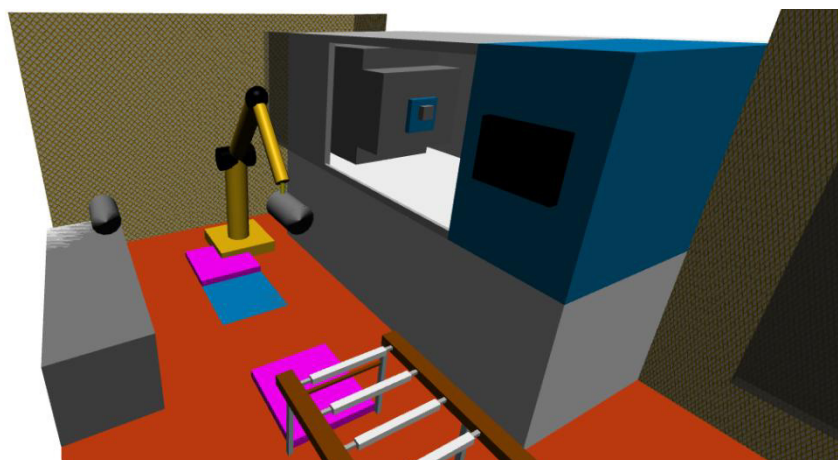


Figura 27: Vista 3D de la zona del Torno

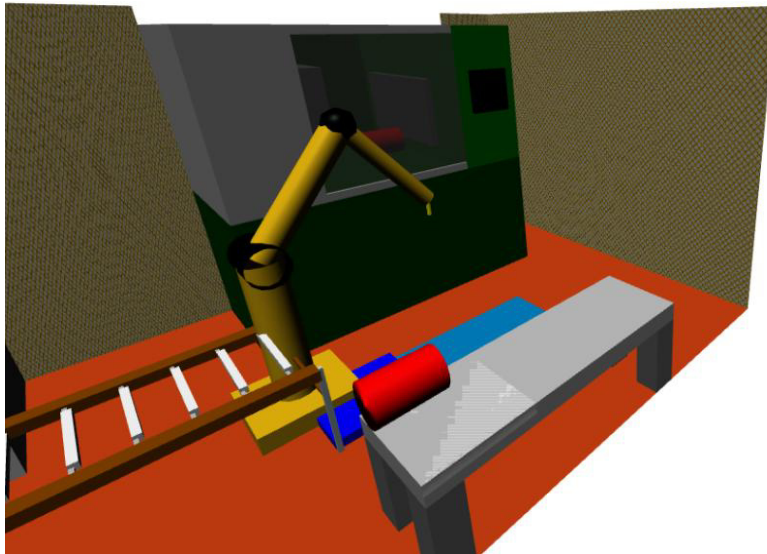


Figura 29: Vista 3D de la zona Centro de Mecanizado

5.3. Análisis resultados

Tras comprobar que los tiempos son correctos y el funcionamiento de la célula se asemeja a la realidad se inicia la simulación. Para ello se le indica al programa que simule 10 veces los 10 turnos de trabajo de 8 horas cada uno de ellos para posteriormente analizar los resultados. Esto se realiza mediante la función *Experiment Wizard*.

Las variables que son de interés para el análisis del funcionamiento son la distribución de tiempos del torno, del centro de mecanizado así como la producción semanal de piezas de la célula.

Para todas ellas la configuración de la simulación es la siguiente:

Observation period :	2880000
Warmup period :	0
Number of observations :	10
Simulation method :	Separate runs
Description :	

Tabla 3: Configuración de la simulación.

5.3.1. Distribución de tiempos del Torno.

La tabla que se muestra a continuación muestra los valores promedio, junto con la desviación estándar, resultado de las 10 observaciones realizadas. También se muestra los valores máximos y mínimos obtenidos.

Atom :		Torno CNC					
		Average	St.Deviation	Lower bound (95%)	Upper bound (95%)	Minimum	Maximum
Status Idle		0,19	0,01	0,18	0,2	0,17	0,2
Status Busy		0,21	0,01	0,2	0,22	0,19	0,22
Status Down		0,04	0,04	0,01	0,07	0	0,11
Status Blocked	0,56	0,02	0,54	0,58	0,51		0,59

Tabla 4: Distribución de tiempos del torno.

El tiempo durante el cual el torno se encuentra trabajando (Busy) es un 21 %. El tiempo durante el cual el torno se encuentra libre (Idle) y vacío es del 20 %. El tiempo Idle, es el tiempo que se tarda en introducir una nueva pieza en el equipo. Sin embargo el torno se encuentra ocupado (Blocked), una vez que la pieza ya ha sido mecanizada un 56 %. En la simulación el tiempo de parada por averías, prevista en un 2%, es algo superior, llegando al 4 %.

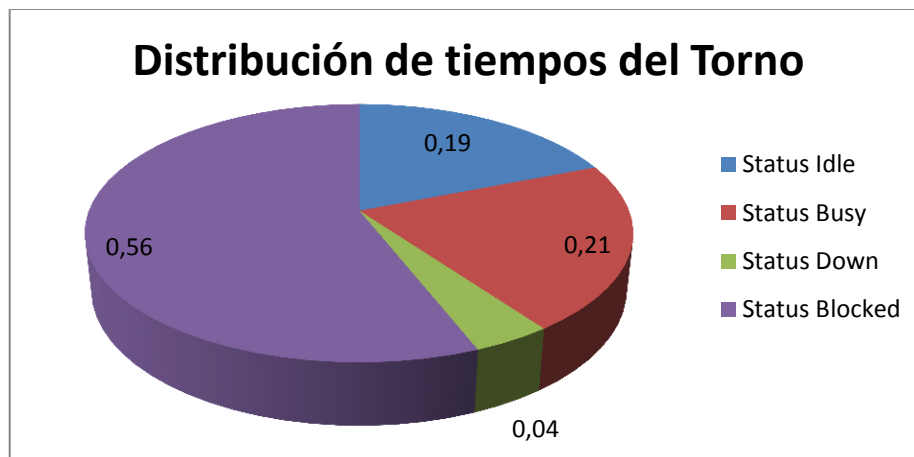


Figura 30: Gráfico de la distribución de tiempos del torno

El tiempo de bloqueo, en el que la pieza acabada se queda en el torno es tan grande ya que el robot Kuka no está disponible o programado para recoger la pieza ya que la célula está programada para que el brazo no recoja la pieza hasta que el centro de mecanizado haya acabado de mecanizar la pieza.

5.3.2. Distribución de tiempos del Centro de Mecanizado.

La distribución de tiempos que se ha obtenido para el centro de mecanizado ha sido:

Atom : Centro de Mecanizado CNC						
	Average	St,Deviation	Lower bound (95%)	Upper bound (95%)	Minimum	Maximum
Status Idle	0,57	0,02	0,56	0,59	0,55	0,62
Status Busy	0,35	0,02	0,34	0,36	0,32	0,37
Status Down	0,02	0,02	0	0,03	0	0,06
Status Blocked	0,06	0	0,05	0,06	0,05	0,06

Tabla 5: Distribución de tiempos de centro de mecanizado.

Como se puede observar el tiempo en el que el centro de mecanizado está trabajando es del 35 %. Sin embargo, el tiempo de bloqueo o tiempo en el que la fresadora contiene la pieza ya acabada es del 6 %, tiempo que tarda el brazo Kuka en sacar la pieza. Por lo que el tiempo total, en el cual el centro de mecanizado se encuentra libre y vacío, sin realizar ninguna operación, es del 57 %, ya que hay que considerar el 2 % del tiempo asociado a las paradas o averías.

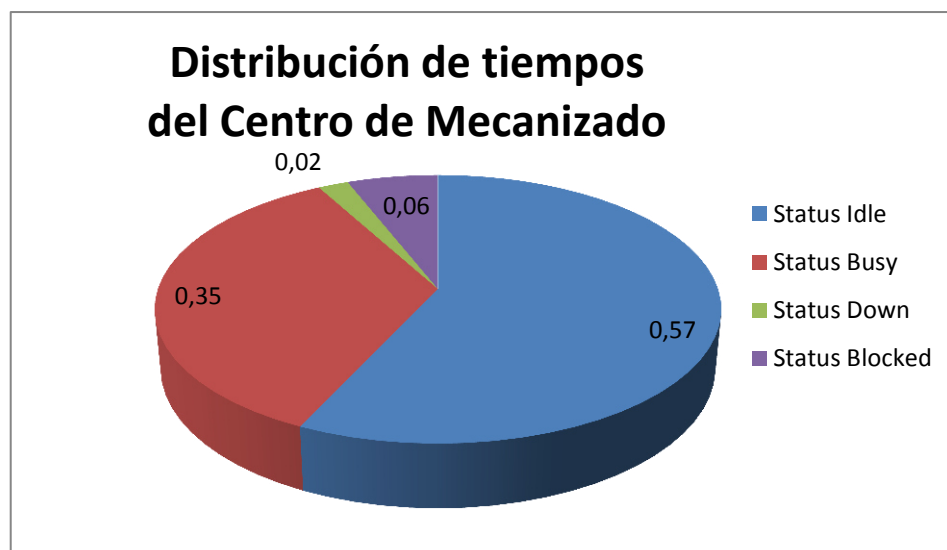


Figura 31: Gráfico de la distribución de tiempos del centro de mecanizado

El tiempo libre u ocioso es tan grande ya que durante este periodo el robot Kuka debe realizar un gran número de operaciones:

- Descargar el centro de mecanizado.
- Dejar la pieza acabada en el almacén de piezas terminadas.
- Recoger una pieza en el almacén de piezas de entrada.
- Descargar el torno.
- Introducir una nueva pieza en el torno.

5.3.3. Productividad de la célula.

Uno de los principales parámetros que sirven para analizar el rendimiento de la célula es su productividad. En este caso, se calcula cual es la productividad semanal, en un periodo de tiempo de 80 horas.

Los resultados obtenidos son los siguientes:

Atom :	Alm. Salida					
	Average	St,Deviation	Lower bound (95%)	Upper bound (95%)	Minimum	Maximum
Producción semanal	802,2	39,61	773,87	830,53	727	845

Tabla 6: Productividad de la célula.

La producción media de las 10 semanas es de 802.2 piezas, con una desviación estándar de 39.61. Como ya se ha especificado anteriormente, en un ciclo de la célula, solo se mecaniza la mitad de la pieza, por lo que en realidad, semanalmente la célula produciría la mitad de piezas, siendo de 401.

6. PROPUESTA DE MEJORA DEL PROCESO

Analizando los tiempos del torno y del centro de mecanizado se puede comprobar que el tiempo durante el que no trabajan es muy grande ya que en el torno es del 63 % (19 % vacío y 56 % ocupado por la pieza mecanizada) y en el centro de mecanizado alcanza el 63 % (57 % vacío y 6 % ocupado). Además, se puede observar que el número de tareas que realiza el robot, entre puestas en marcha del centro de mecanizado es grande, por lo que convendría reducirlo.

Una buena opción de mejora sería reprogramar la célula, intentando reducir los tiempos de ocio de las máquinas o modificar el orden en el que se realizan las tareas. De este modo se podría reducir el tiempo de ciclo total de la célula, aumentando así su productividad semanal.

La propuesta de mejora, consiste en, reprogramar la célula, para conseguir reducir el número de operaciones que realiza la célula, después de que acabe el centro de mecanizado hasta que comienza de nuevo. Dado que el tiempo de ciclo del centro de mecanizado es grande (genera un cuello de botella), lo que se plantea es, la realización de operaciones durante el proceso de mecanizado de la fresadora.

La nueva secuencia de tareas, viene dada por el siguiente diagrama de flujos y la siguiente tabla.

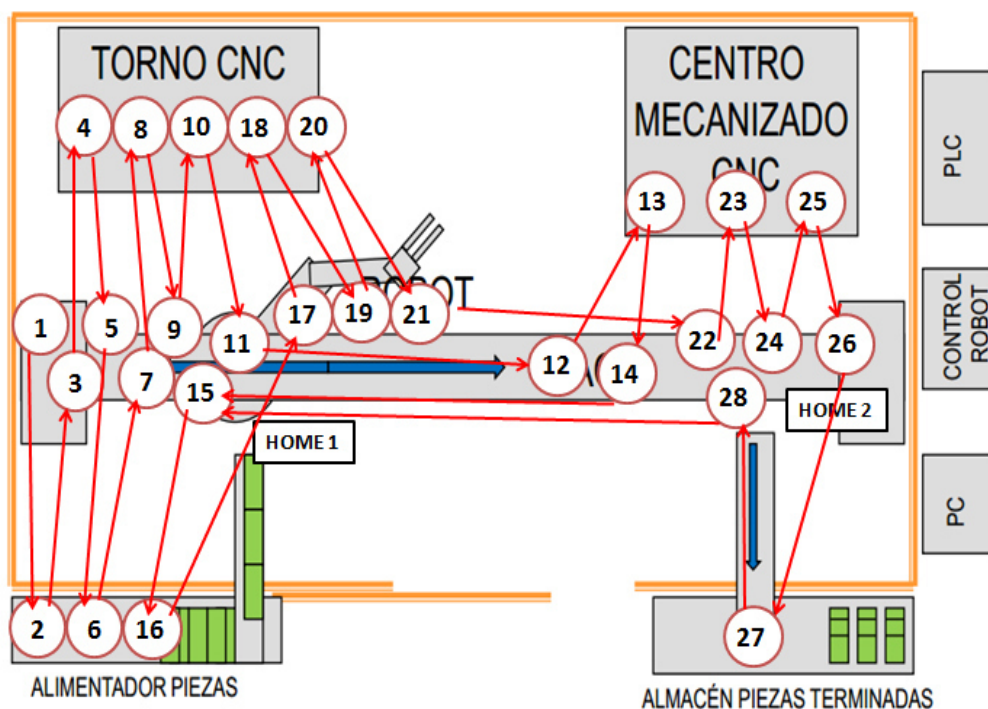


Figura 32: Diagrama de flujo de las piezas con la propuesta de mejora

	Operación	Tiempo de ciclo	Tiempo transcurrido
1-2-3	El robot coge la pieza del alimentador de piezas con la garra 1 va hasta la posición HOME*	15 s	0 : 15
3-4	El robot introduce la pieza en el torno CNC	28 s	0 : 43
4-5	El robot sale del torno sin la pieza hasta la posición HOME.	15 s	0 : 58
5-6-7	<ul style="list-style-type: none"> El robot, repite la operación 1, cogiendo una nueva pieza y volviendo a la posición HOME. Después espera a que el torno finalice. El torno CNC mecaniza la pieza. 	<ul style="list-style-type: none"> 15 s 75 s 	2 : 13
7-8-9	Robot coge la pieza mecanizada del torno CNC con la pinza 2 y vuelva a la posición HOME.	25 s	2 : 38
9-10	El robot introduce la pieza sin mecanizar de la pinza 1 en el torno CNC.	28 s	3 : 06
10-11	El robot vuelva a la posición HOME, solo con la pieza mecanizada en la pinza 2 y el torno comienza a mecanizar la pieza.	15 s	3 : 21
11-12-13	El robot lleva la pieza desde la posición HOME hasta la fresadora CNC y la introduce en la fresadora.	(5 de track +35 de robot) 40 s	4 : 01
13-14	El robot sale de la fresadora sin la pieza hasta la posición HOME.	20 s	4 : 21
14-15	<ul style="list-style-type: none"> La fresadora mecaniza la pieza. El robot vuelve a la posición home 1 	<ul style="list-style-type: none"> 126 s 5 	<ul style="list-style-type: none"> 6 : 27 4 : 26
15-16-17	El robot coge la pieza del alimentador de piezas con la garra 1 y va hasta la	15 s	4 : 41

	posición HOME1.		
17-18-19	Robot coge la pieza mecanizada del torno CNC con la pinza 2 y vuelva a la posición HOME1.	25 s	5 : 06
19-20	El robot introduce la pieza sin mecanizar de la pinza 1 en el torno CNC.	28 s	5 : 34
20-21	El robot vuelve a la posición HOME, solo con la pieza mecanizada en la pinza 2 y el torno comienza a mecanizar la pieza.	15 s	5 : 49
21-22	El robot vuelve a la posición Home 2 y espera a que la fresa termine	5 s	5 : 54
22-23-24	El robot coge la pieza de la fresadora con la pinza 1 y vuelva a la posición HOME.	40 s	7 : 07
24-25-26	El robot introduce la pieza de la pinza 2 en la fresa y vuelva hasta la posición HOME 2	55 s	8 : 02
26-27	<ul style="list-style-type: none"> • La fresa comienza a mecanizar • El robot suelta la pieza ya finalizada en el almacén de piezas terminadas. 	<ul style="list-style-type: none"> • 126 s • 25 s 	<ul style="list-style-type: none"> • 10 : 08 • 8 : 27
27-28-15	El robot vuelve a la posición HOME 1 junto al alimentador de piezas.	5 s	8 : 32
20.	Se repite el proceso desde la posición 15	201 s (3 : 41)	

Tabla 7: Operaciones y tiempos de ciclo de la propuesta de mejora.

El tiempo del ciclo en este caso es de 3 min 41 segundos, que es el tiempo de mecanizado del centro de mecanizado, el tiempo de descarga y el tiempo de carga del mismo. ($126\text{ s} + 40\text{ s} + 55\text{ s} = 221\text{ s}$).

El tiempo de ciclo se reduce considerablemente desde los 5 min 39 segundos a 3 min 41 segundos. Esto es posible ya que se ha aprovechado el tiempo que esperaba el robot Kuka a que acabara la fresadora, para coger una nueva pieza del alimentador de piezas, sacar la pieza del torno que está acabado, introducir la nueva pieza y volver a la posición Home 2. De este modo, ya está la pieza preparada a la entrada del centro de mecanizado.

6.1. Model Layout

Para el nuevo Model Layout se han hecho algunas modificaciones respecto del original.

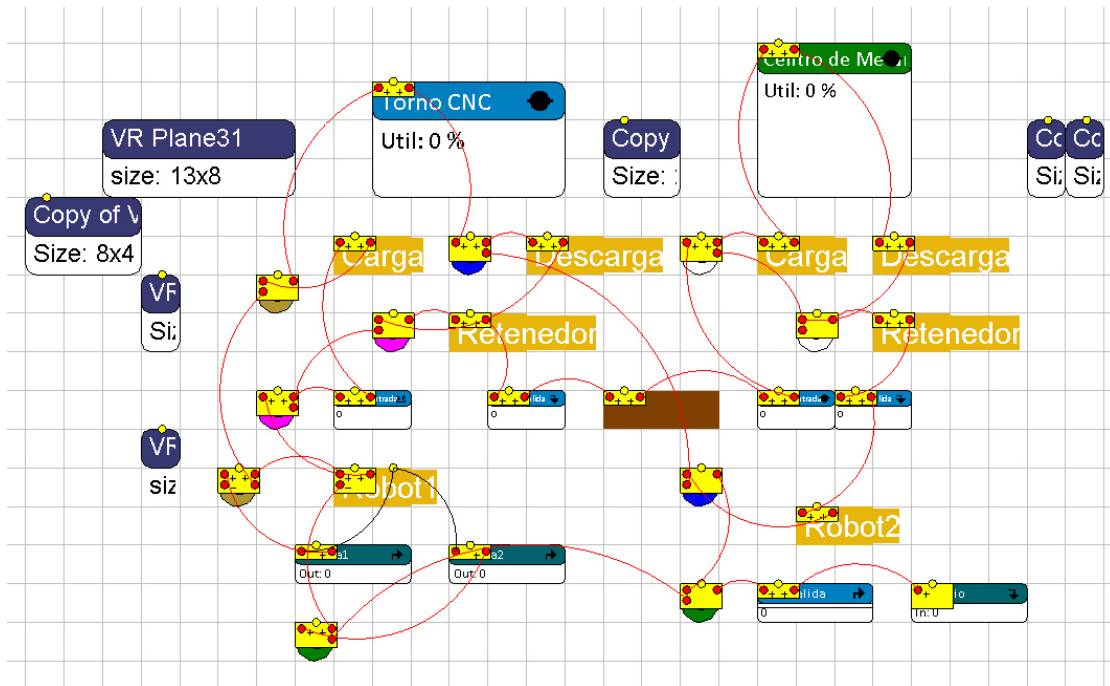


Figura 33: Diagrama de conexiones del modelo de mejora.

- Se ha añadido un nuevo **Robot** llamado *Retenedor*, que posee la misma función que en el caso original, pero configurado con el tiempo de carga del Centro de Mecanizado y vuelta al Home2, siendo de 55 s.
- Se ha incluido otro átomo **Source**, llamado *Entrada2*, el cual proporciona las piezas al modelo a partir de la tercera pieza, momento en el que se repite el ciclo.
- Se ha modificado la función de algunos de los átomos Lock-Unlock:
 - *Blanco*: evita que el brazo *Carga* vaya hacia la fresadora y de este modo espera en la posición de Home 2, hasta que llega el momento de cargar la fresadora con una nueva pieza. El máximo número de piezas es 1.
 - *Azul*: estipula que el número máximo de piezas en la zona del centro de mecanizado sea de 2.

- Verde: establece que el número de piezas dentro de la célula de trabajo sea como máximo de 3.

En el modelo 2D, para que la simulación sea real, los átomos deben estar bien situados.

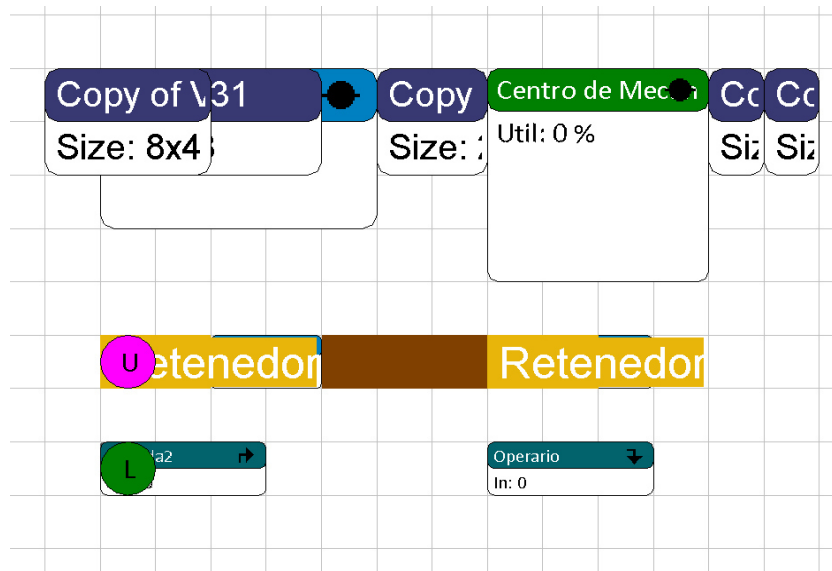


Figura 34: Model Layout del modelo de mejora

6.2. Análisis de resultados.

Para poder comparar ambos modelos, se realiza el mismo *Experiment Wizard*, simulando 10 veces la producción semanal de la célula. Los variables a analizar son las mismas.

6.2.1. Distribución de tiempos del Torno.

Los datos obtenidos con la célula mejorada son los siguientes.

Atom : Torno CNC						
	Average	St,Deviation	Lower bound (95%)	Upper bound (95%)	Minimum	Maximum
Status Idle	0,3	0,01	0,29	0,3	0,28	0,31
Status Busy	0,33	0,01	0,32	0,33	0,3	0,34
Status Down	0,01	0,02	0	0,03	0	0,07
Status Blocked	0,37	0,03	0,35	0,39	0,33	0,42

Tabla 8: Distribución de tiempos del torno del modelo mejorado.

En esta ocasión el tiempo de trabajo del torno es del 33 % del ciclo. Por otro lado el tiempo de bloqueo aumenta hasta el 37 %. El tiempo en el que el torno ha estado parado por avería ha sido del 1 %, valor próximo al estimado del 2 %. El tiempo restante del 30 %, es la fracción de tiempo que el torno está vacío, que son los tiempos de carga y descarga del mismo.

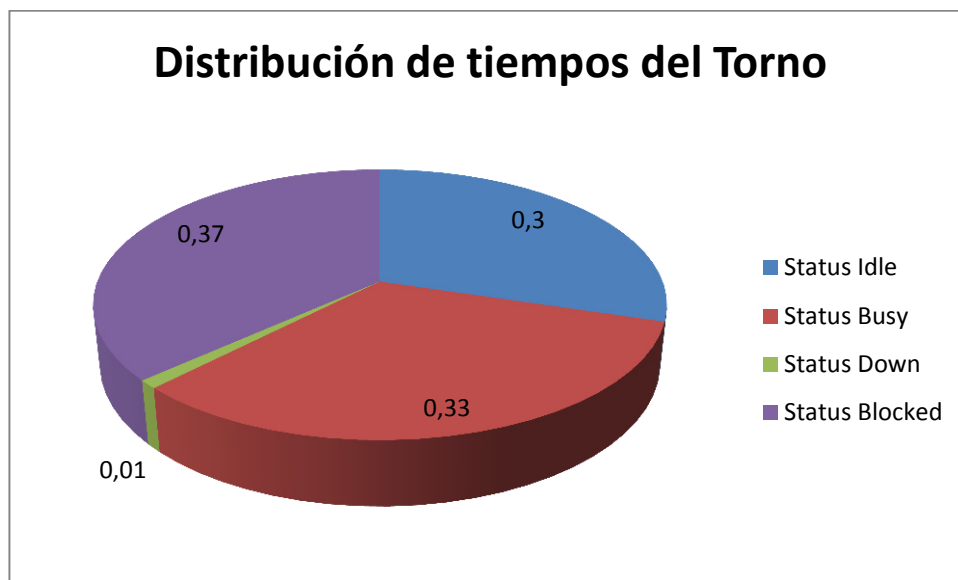


Figura 35: Gráfico de la distribución de tiempos del torno en el modelo mejorado.

Para analizar la mejora, no es útil comparar la distribución de tiempos ya que el tiempo de ciclo de la célula ha cambiado, y en consecuencia los porcentajes. Para analizar los datos, se estima cual es el tiempo de cada uno de los estados tanto en la primera simulación como en la mejora.

	Torno ensayo real		Torno ensayo mejora	
Tiempo de ciclo de la célula	5 min 39 s = 339 s		3 min 41 s = 221 s	
	Porcentaje	Tiempo (s)	Porcentaje	Tiempo (s)
Idle Time, Tiempo de Ocio o Tiempo de Carga	19 %	64.41 s	30 %	66.3 s
Bussy Time o Tiempo de Trabajo	21 %	71.19 s	33 %	72.93 s
Blocked Time, Tiempo de Bloqueo o Tiempo de Descarga	56 %	189.84 s	37 %	81.77 s
Down Time, o Tiempo de Avería	4 %	13.54 s	1 %	2.21 s

Tabla 9: Comparativa tiempos del torno modelo actual y propuesta de mejora.

Como se puede observar los tiempos de carga y de trabajo son prácticamente iguales. Esto es así ya que el tiempo de ciclo del torno es el mismo para ambos casos, así como, la nueva pieza sin mecanizar está disponible para introducirla en el torno nada más salir la pieza mecanizada.

Por otro lado el tiempo que tarda el robot en descargar el torno se reduce considerablemente. Esto es así ya que en el primer caso, el robot debe esperar a que el centro de mecanizado termine para volver a trabajar con el torno. Sin embargo en la mejora, el robot en lugar esperar a que la fresadora termine, acude al torno para descargarlo y cargarlo con una nueva pieza.

6.2.2. Distribución de tiempos del Centro de Mecanizado.

La nueva distribución de tiempos para el centro de mecanizado es la siguiente:

Atom : Centro de Mecanizado CNC						
	Average	St,Deviation	Lower bound (95%)	Upper bound (95%)	Minimum	Maximum
Status Idle	0,34	0,02	0,32	0,35	0,3	0,38
Status Busy	0,55	0,02	0,53	0,56	0,51	0,57
Status Down	0,03	0,04	0	0,05	0	0,11
Status Blocked	0,09	0	0,08	0,09	0,08	0,09

Tabla 10: Distribución de tiempos del centro de mecanizado del modelo mejorado

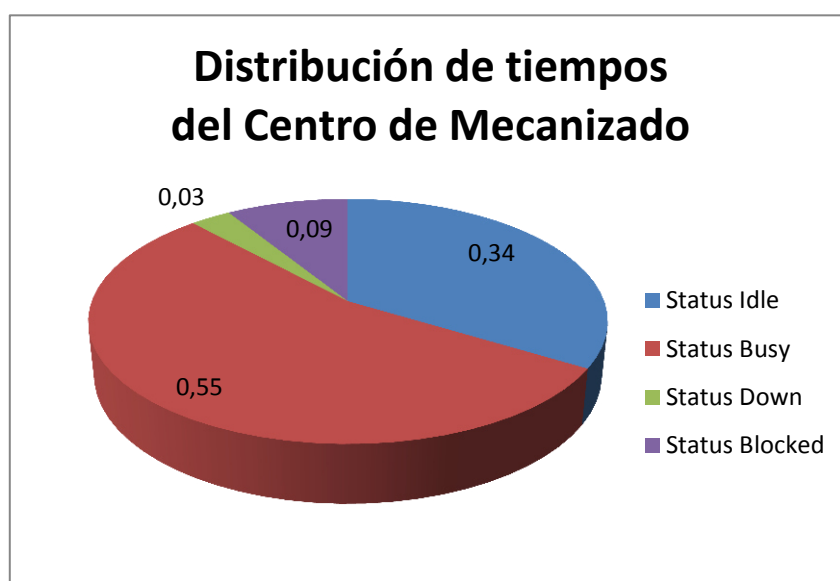


Figura 36: Gráfico de la distribución de tiempos del centro de mecanizado en el modelo mejorado.

El tiempo de trabajo es el 55 % del tiempo de ciclo total de la célula. El tiempo que tarda en el robot en cargar el centro de mecanizado es del 34 %, frente al 9 % que tarda en descárgalo. El tiempo de avería es el 3 %, próximo al 2 % asignado.

Nuevamente para comparar ambos casos, se establecen los tiempos.

	Torno ensayo real		Torno ensayo mejora	
Tiempo de ciclo de la célula	5 min 39 s = 339 s		3 min 41 s = 221 s	
	Porcentaje	Tiempo (s)	Porcentaje	Tiempo (s)
Idle Time, Tiempo de Ocio o Tiempo de Carga	57 %	193.23 s	34 %	75.15 s
Bussy Time o Tiempo de Trabajo	35 %	118.65 s	55 %	121.55 s
Blocked Time, Tiempo de Bloqueo o Tiempo de Descarga	6 %	20.34 s	9 %	19.89s
Down Time, o Tiempo de Avería	2 %	6.78 s	3 %	6.67 s

Tabla 11: Comparativa tiempos del centro de mecanizado modelo actual y propuesta de mejora.

Se aprecia que el tiempo de trabajo y los tiempos de descarga son los mismos, ya que la reprogramación del robot no afecta a estas tareas. Se observa una gran reducción del tiempo de carga del torno ya que con la nueva forma de trabajar del robot, el centro de mecanizado tiene la pieza nueva ya preparada a la entrada del torno.

6.2.3. Productividad de la célula

Atom : Alm, Salida						
			bound (95%)	bound (95%)		n
Producción semanal	1251,9	44,08	1220,36	1283,44	1165	1302

Tabla 12: Productividad del modelo mejorado.

Considerando que el tiempo de ciclo se ha reducido de 5 min 39 segundos a 3 min 41 segundo, la cantidad de piezas que la célula puede producir en un mismo

periodo de tiempo es mayor. Por ello pasamos de producir semanalmente 802 piezas a 1252 piezas, es decir, se produce un aumento de la producción del 56 %.

Nuevamente hay que recordar, que es necesario introducir las piezas en el alimentador de entrada, por lo que la productividad de piezas en una semana sería la mitad, siendo 626 piezas. Con la mejora se producirían 225 piezas más cada semana.

Dado que el tiempo de ciclo ha disminuido, hay que tener en cuenta que la frecuencia con la que el operario debe acudir a cargar el almacén de entrada y a descargar el de salida, es mayor.

7. CONCLUSIONES

A la hora de recoger y analizar los datos obtenidos del modelo simulado hay que tener en cuenta que se han tomado una serie de hipótesis simplificadoras. Debido a las limitaciones del programa se ha tenido que adaptar los recursos que el programa ofrece para que el modelo simulado se asemeje lo más posible al modelo real.

Una posible mejora consistiría en evitar el momento en el que los átomos *Robot1* y *Carga* se mueven simultáneamente durante un breve periodo de tiempo en la simulación. En el presente proyecto, no ha sido prioritario evitar dicho error ya que no afecta a las variables de estudio utilizadas. Sin embargo, una posible solución, sería profundizar en la propia programación del programa, sabiendo utilizar el lenguaje de programación de Enterprise Dynamics.

Al tratarse de un proyecto con fines académicos, se ha utilizado una versión para estudiantes. Cabe aclarar que en su versión de pago, el programa ofrece mayores posibilidades, con un mayor número de átomos disponibles, con lo que se podría realizar un modelo más real.

Los tiempos obtenidos de la simulación son próximos a los datos reales, y por lo tanto se pueden tomar como válidos. Sin embargo sí que hay que considerar que la productividad de la célula real, será inferior a los datos obtenidos de la simulación ya que tan solo se ha considerado un 2 % de tiempos parada. No se han considerado por ejemplo, tiempos necesario de recambios de herramientas por su desgaste u otros incidentes no previstos.

La propuesta de mejora analizada puede ser una buena opción de optimización del funcionamiento de la célula. Con la reprogramación del sistema de control del robot se consigue reducir los tiempos de descarga del torno y el tiempo de carga del centro de mecanizado. Esta reducción de tiempo, se logra evitando el cuello de botella que produce el centro de mecanizado. Se consigue reduciendo notablemente el tiempo de carga de la fresadora, ya que en la mejora, el robot esperaría en la posición Home2 con la pieza nueva que debe introducir en el centro de mecanizado.

El tiempo de ciclo total de la célula se ha conseguido reducir desde los 5 min 39 segundos a los 3 min 41 segundos, un total 118 segundos. Esto supone una reducción del ciclo del 35 %. Se puede considerar por tanto una gran mejora en el proceso, teniendo en cuenta que los tiempos de ciclo del torno y del centro de mecanizado, que son los que realmente aportan valor a la pieza, permanecen invariables.

Gracias a esta mejora se conseguiría mejorar la productividad semanal de la célula notablemente, pasando de producir 401 piezas completas (mecanizada por ambos lados) a 626 piezas, un aumento del 56 %.

Finalmente hay que considerar que la inversión a realizar para implementar la mejora sería casi nula, ya que únicamente habría que realizar una reprogramación del sistema de la célula. Para ello se debería realizar la contratación de un operario especializado durante el breve periodo de tiempo que duraría la realización del nuevo programa que controle la célula.

Dado que el problema del cuello de botella no es un problema de programación, no sería necesaria la adquisición de ningún equipo nuevo. Sin embargo, dado que la duración del ciclo de las piezas es menor, la frecuencia con la que se requiere la presencia de un operario para cargar el almacén de piezas de entrada y del almacén de piezas terminadas es mayor. Por ello, se recomendaría realizar una ampliación de ambos almacenes para aumentar su capacidad, aumentando de este modo el intervalo de tiempo de intervención del operario responsable de la célula.

Otra posible propuesta de mejora podría ser la implantación de un sistema automático que complete el ciclo de fabricación de cada pieza. De este modo una vez se ha mecanizado un extremo de la pieza, se introduciría de manera automática de nuevo en el alimentador de piezas de entrada, para mecanizar el otro lado. En este caso no se ha analizado dicha propuesta, por el interés docente del presente proyecto de análisis del proceso.

8. BIBLIOGRAFÍA

- **Descripción de un Sistema de fabricación flexible y Célula de fabricación**

<http://isa.umh.es/asignaturas/fac/tema10.pdf.pdf>

http://www.ehu.es/manufacturing/docencia/66_ca.pdf

- **Descripción del robot Kuka.**

[http://www.kuka-](http://www.kuka-robotics.com/spain/es/products/industrial_robots/low/kr16_2/start.htm)

[robotics.com/spain/es/products/industrial_robots/low/kr16_2/start.htm](http://www.kuka-robotics.com/spain/es/products/industrial_robots/low/kr16_2/start.htm)

- **Kuka manual de operación y programación**

<http://www.fagorautomation.com/producto/sistemas-de-control-numerico/aplicaciones/torno/cnc-8055-t/>

- **Descripción Red Profibus.**

Libro “Comunicaciones Industriales” de Vicente Guerrero, Lluís Martínez y Ramón L. Yuste, de la editorial MARCOMBO

- **Enterprise dynamics tutorial. Incontrol Enterprise dynamics.**

www.enterprisedynamics.com, 2011

- **Comunidad-foro Enterprise Dynamics comunista**

<http://community.incontrolsim.com/>

Índice de Figuras

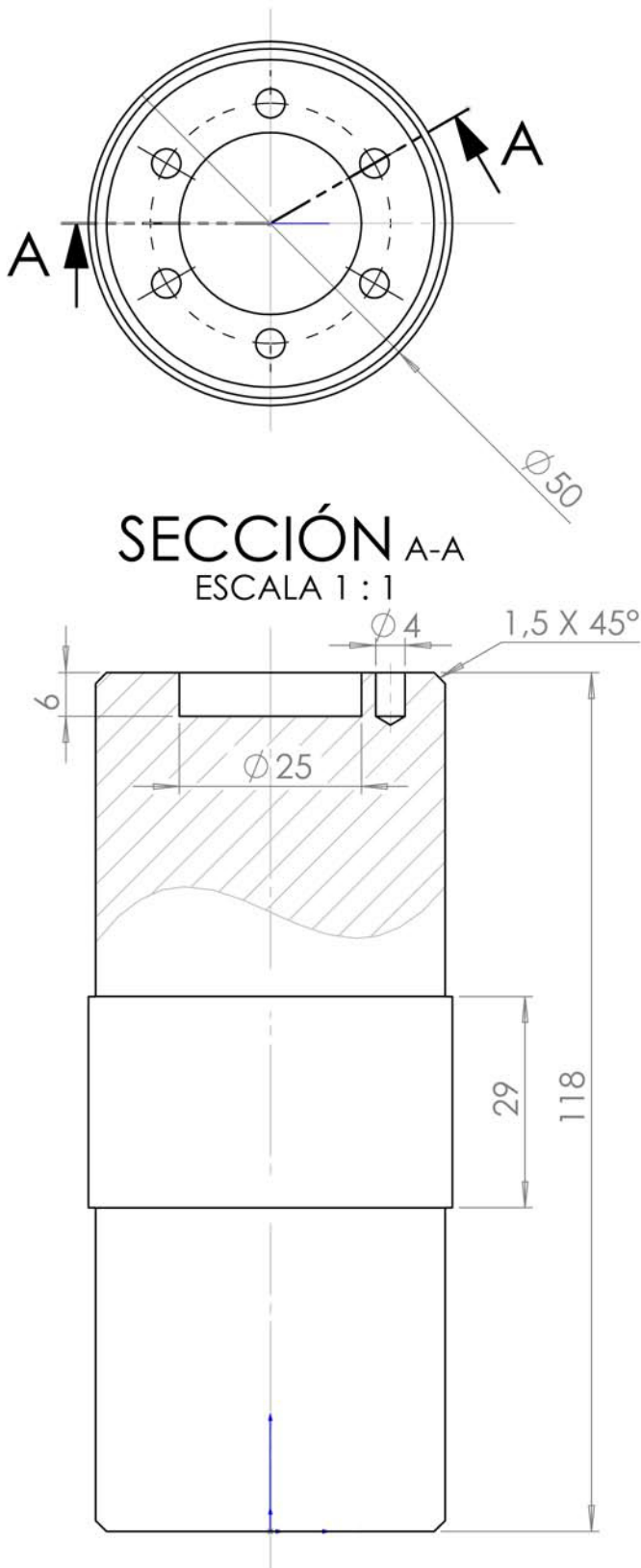
Figura 1: Ocupación de distintos sistemas de fabricación en el mercado.....	9
Figura 2: Esquema célula de fabricación del CIP Virgen del Camino.....	15
Figura 3: 6 grados de libertad del robot Kuka	16
Figura 4: Detalle de una de las pinzas de sujeción situada en el extremo del robot.	16
Figura 5: Robot Kuka situado en la célula.....	17
Figura 6: Kuka Control Panel (KCO)	17
Figura 7: Armario de control del Kuka: vista exterior.	18
Figura 8: Armario de control del Kuka: vista interior.	18
Figura 9: Centro de mecanizado KONDIA B-500 CNC	18
Figura 10: Torno TBI-450 MC CNC.....	18
Figura 11: Reductora y servomotor.....	20
Figura 12: Mecanismo piñón-cremallera.	20
Figura 13: Detalle vallado seguridad y Track.	21
Figura 14: Alimentador de piezas de entrada: vista interior.....	21
Figura 15: Alimentador de piezas de entrada: vista exterior.....	21
Figura 16: Alimentador de pieza de salida: cinta transportadora.	22
Figura 17: Cable Profibus	23
Figura 18: Red Profibus de la célula	23
Figura 19: Trama de una red Profibus	24
Figura 20: Esquema del servosistema de la célula	25
Figura 21: composición química del aluminio serie 2030.	30
Figura 22: propiedades del aluminio serie 2030 en barra calibrada.	30
Figura 23: Pieza terminada, tras su paso por la célula.....	32
Figura 24: Diagrama de flujo de las piezas.	33
Figura 25: Diagrama de conexiones del modelo.	44

Figura 26: Model Layout del modelo	45
Figura 27: Vista 3D de la zona del Torno	45
Figura 28: Vista 3D de la Célula	45
Figura 29: Vista 3D de la zona Centro de Mecanizado	46
Figura 30: Gráfico de la distribución de tiempos del torno.....	47
Figura 31: Gráfico de la distribución de tiempos del centro de mecanizado	48
Figura 32: Diagrama de flujo de las piezas con la propuesta de mejora	53
Figura 33: Diagrama de conexiones del modelo de mejora.....	56
Figura 34: Model Layout del modelo de mejora	57
Figura 35: Gráfico de la distribución de tiempos del torno en el modelo mejorado.....	58
Figura 36: Gráfico de la distribución de tiempos del centro de mecanizado en el modelo mejorado.	59

Índice de Tablas

Tabla 1: Modo de funcionamiento de la célula.	34
Tabla 2: Tiempos de ciclo de las distintas operaciones.....	39
Tabla 3: Configuración de la simulación.....	46
Tabla 4: Distribución de tiempos del torno.	47
Tabla 5: Distribución de tiempos de centro de mecanizado.	48
Tabla 6: Productividad de la célula.	49
Tabla 7: Operaciones y tiempos de ciclo de la propuesta de mejora.....	55
Tabla 8: Distribución de tiempos del torno del modelo mejorado.	57
Tabla 9: Comparativa tiempos del torno modelo actual y propuesta de mejora.....	58
Tabla 10: Distribución de tiempos del centro de mecanizado del modelo mejorado....	59
Tabla 11: Comparativa tiempos del centro de mecanizado modelo actual y propuesta de mejora.....	60
Tabla 12: Productividad del modelo mejorado.	60

ANEXOS



SECCIÓN A-A
ESCALA 1 : 1



ESCALA 1 : 2



Universidad Pública
de Navarra
Nafarroako
Unibertsitate Publikoa

E.T.S.I.I.T.

GRADO EN INGENIERÍA EN
TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

DEPARTAMENTO DE ING.
MECANICA, ENERGETICA Y DE
MATERIALES

PROYECTO:

CÉLULA DE FABRICACIÓN FLEXIBLE DEL CIP VIRGEN
DEL CAMINO DE PAMPLONA

REALIZADO:

JOSEBA OLCOZ LARRAYOZ

FIRMA:

PLANO:

PIEZA EN SERIE Nº 1

FECHA

20/05/14

ESCALA

1:1

NºPLANO

1

2. ESPECIFICACIONES Y DESCRIPCIONES

2.1 CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS

CABEZAL	SIEMENS		FANUC		ADVANTAGE		
	TBI 450-A	TBI 450-B	TBI 450-A	TBI 450-B	I	II	III
Diámetro máximo admitido	450 mm		450 mm		450 mm		
Diámetro máximo torneable	300 mm		300 mm		300 mm		
Nariz del eje del cabezal	ASA 6" A2		ASA 6" A2		ASA 6" A2		
Diámetro del plato hidráulico	160 mm		160 mm		160 mm		
Diámetro exterior de los rodamientos delanteros	160 mm		160 mm		160 mm		
Diámetro interior de los rodamientos delanteros	85 mm		85 mm		85 mm		
Diámetro interior del eje del cabezal	55 mm		55 mm		55 mm		
Paso de barra (Diámetro interior del tirante)	43 mm		43 mm		43 mm		
Velocidad de rotación máxima (rpm)	6000	4500	6000	4500	4680	3890	3025
Potencia del motor de cabezal Kw	14,5		11		15		
Potencia del motor de cabezal CV	20		14,7		20,1		

EJES

Recorrido Máximo del Eje X	221 mm	221 mm	221 mm
Recorrido Máximo del Eje Z	590 mm	590 mm	590 mm
Distancia entre plato y punto	580 mm	580 mm	580 mm
Movimiento rápido eje X	15 m/min	15 m/min	10 m/min
Movimiento rápido eje Z	20 m/min	20 m/min	20 m/min
Par eje X	10 Nm	6 Nm	6 Nm
Par eje Z	14 Nm	12 Nm	12 Nm

CONTRAPUNTO

Recorrido máximo del cuerpo del contrapunto	500 mm	500 mm	500 mm
Recorrido máximo de la caña del contrapunto	130 mm	130 mm	130 mm
Diámetro de la caña del contrapunto	90 mm	90 mm	90 mm
Cono Morse del contrapunto	Nº5	Nº5	Nº5

HERRAMIENTAS

Número de herramientas	12	12	12
Sección de las herramientas	25 x 25 mm	25 x 25 mm	25 x 25 mm

VARIOS

Capacidad del depósito de refrigerante	85 l	85 l	85 l
Capacidad del depósito de aceite hidráulico	50 l	50 l	50 l
Capacidad del depósito de aceite de engrase	2,7 l	2,7 l	2,7 l
Potencia total instalada	27 KVA	27 KVA	27 KVA
Tensión de instalación	380v 50 Hz+-5%	220v 50 Hz+-5%	220v 50 Hz+-5%
Temperatura ambiental	0-35 C	0-35 C	0-35 C
Peso aproximado	3750 Kg	3750 Kg	3717 Kg
Dimensiones : Largo	2500mm	2500mm	2500mm
Ancho	1450mm	1450mm	1450mm
Alto	1700mm	1700mm	1700mm

3. INSTALACION.

3.1 ELEVACION.

Asegúrese del empleo de tres eslingas de elevación que cumplan las características siguientes :

	Resistencia	Longitud
A	5.000 Kg	3.075 mm
B	5.000 Kg	2.385 mm
C	5.000 Kg	3.255 mm

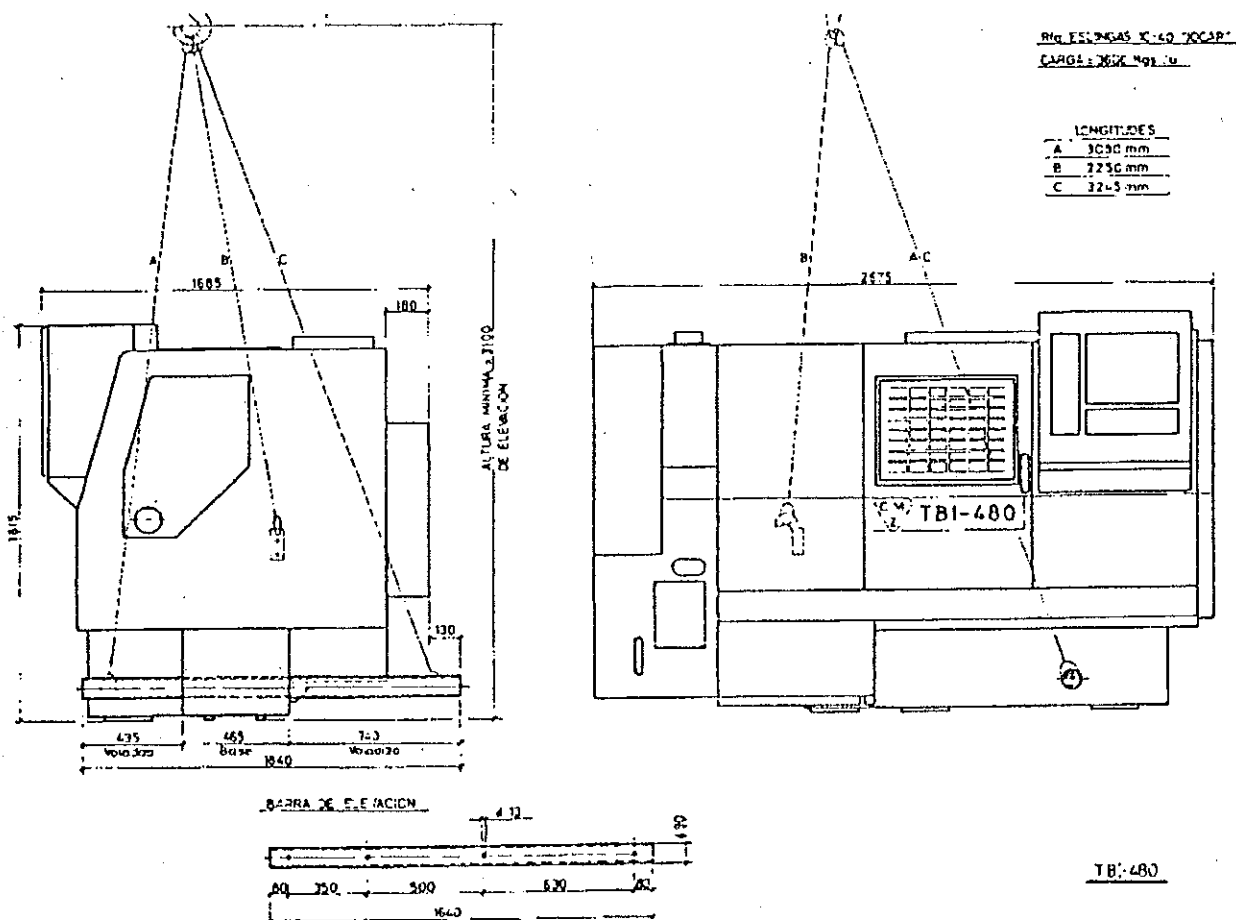
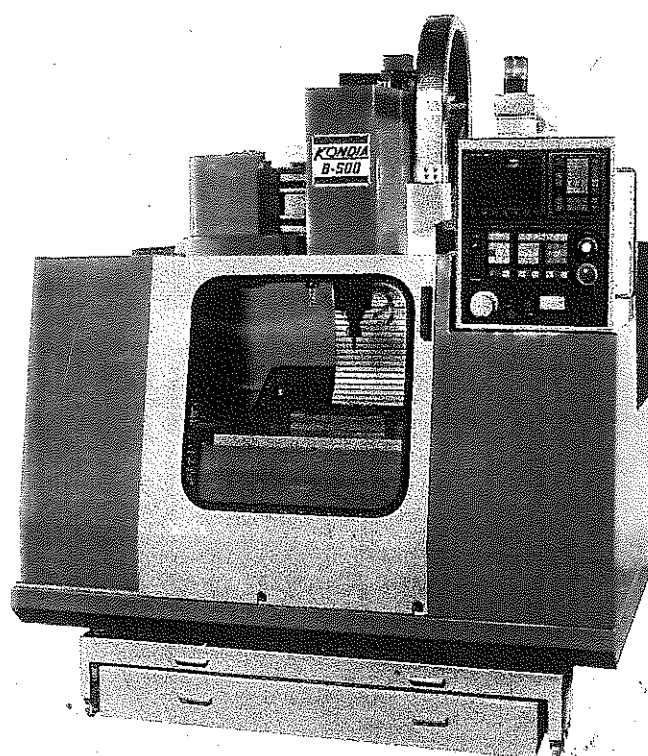


Fig.03.00

Centro de mecanizado

mod. **500**



KONDIA

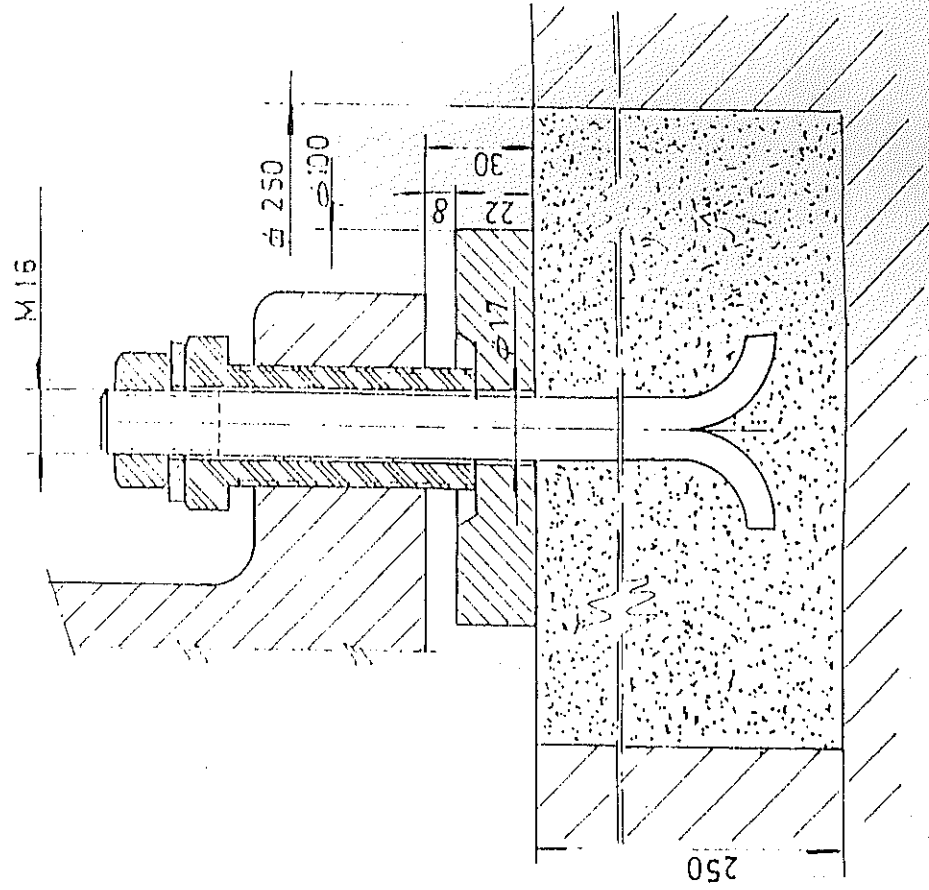
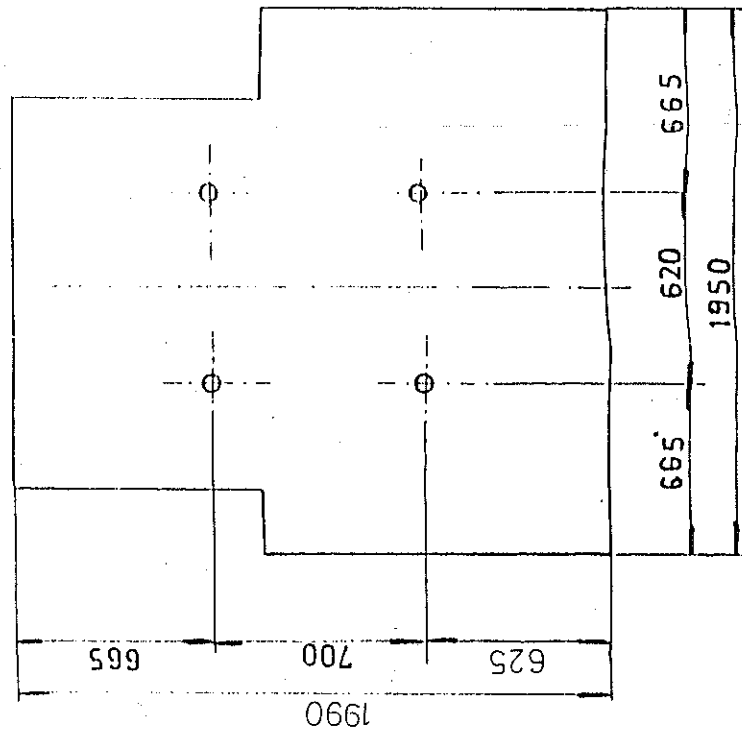
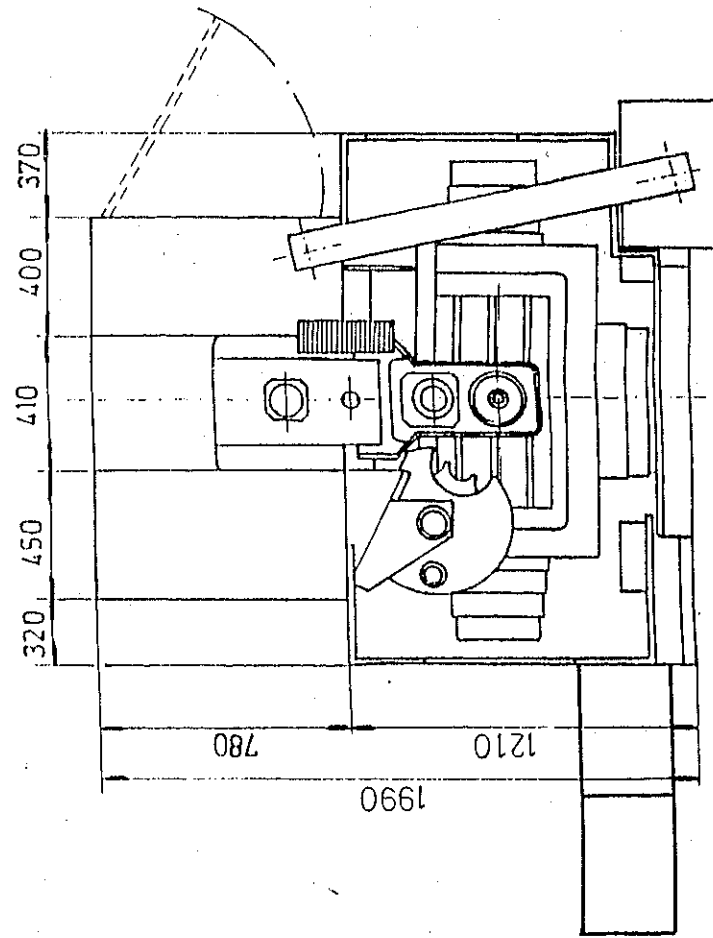
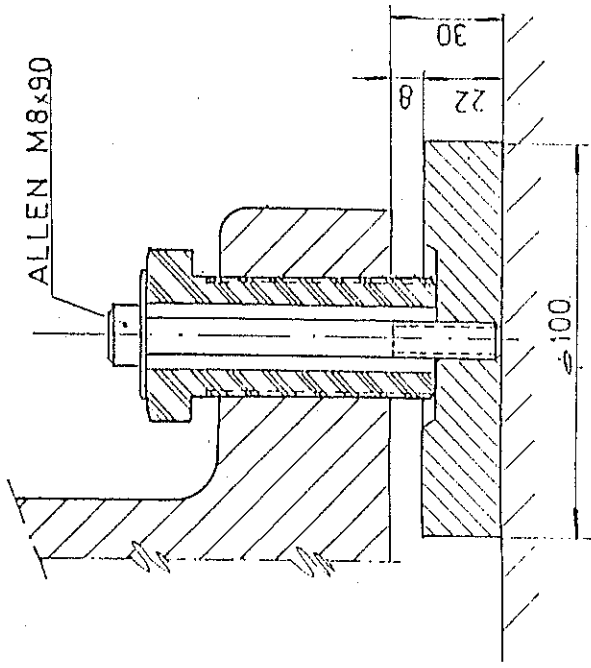
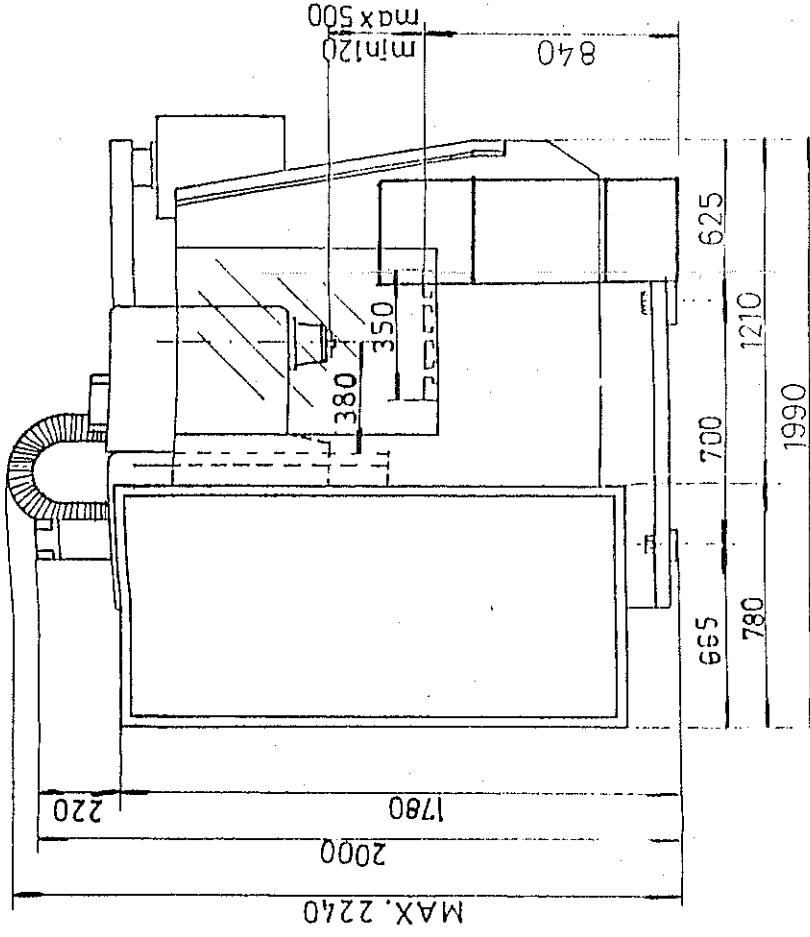
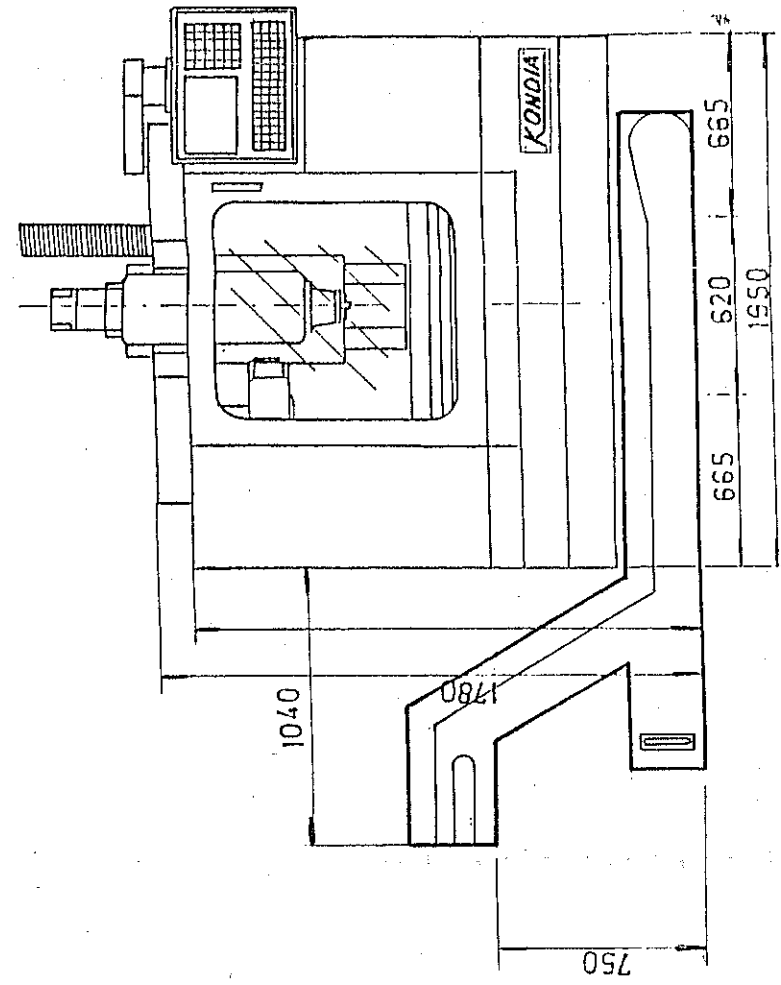
DENOMINACION

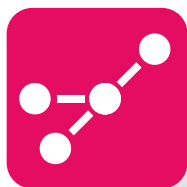
CENTRO DE MECANIZADO B-500

DIMENSIONES GENERALES

1-2

KONDIA





DESIGNACIÓN DE LA ALEACIÓN

Numérica	Simbólica
EN AW-2030	EN AW-AlCu4PbMg

COMPOSICIÓN QUÍMICA (EN 573-3)

%	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Ti	Ga	V	Notas	Otros		aluminio mín.
													Cada	Total	
mín.	-	-	3,3	0,2	0,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
máx.	0,8	0,7	4,5	1,0	1,3	0,1	-	0,5	0,2	-	-	0,2Bi ; 0,8-1,5Pb	0,1	0,3	Resto

BARRA CALBRADA (EN 754-2)

Estado de Tratamiento	Dimensiones mm		R _m MPa		R _{p0,2} MPa		A%	A _{50mm} %
	D ⁽¹⁾	S ⁽²⁾	mín.	máx.	mín.	máx.	mín.	mín.
T3 ⁽³⁾	≤30	≤30	370	-	240	-	7	5
	30<D≤80	30<S≤80	340	-	220	-	6	-
T351 ⁽³⁾	≤80	≤80	370	-	240	-	5	3

BARRA EXTRUIDA (EN 755-2)

Estado de Tratamiento	Dimensiones mm		R _m MPa		R _{p0,2} MPa		A%	A _{50mm} %
	D ⁽¹⁾	S ⁽²⁾	mín.	máx.	mín.	máx.	mín.	mín.
T4/T4510 T4511 ⁽³⁾	≤80	≤80	370	-	250	-	8	6
	80<D≤200	80<S≤200	340	-	220	-	8	-
	200<D≤250	200<S≤250	330	-	210	-	7	-

(1) Diámetro para barras redondas.

(2) Distancia entre caras para barras cuadradas y hexagonales. Espesor para barras rectangulares.

(3) Las características pueden obtenerse mediante enfriamiento en prensa.

Bajo pedido podemos suministrar esta misma aleación con bajo contenido en Plomo (Pb máx. 0,4% conforme a la norma ROHS)

CATÁLOGO DE LA PLAQUITA DEL TORNO Y DE LA FRESA DEL CENTRO DE MECANIZADO

8515 PLAQUITA INTERCAMBIABLE TORNEADO DCGT 55° POSITIVA ALUMINIO



Imprimir

Medida	TIN	N. Art TIN	€ TIN	Medida	TIN	N. Art TIN	€ TIN
DCGT-11T304-AL-P16	10	29911	17,22	DCGT-070204-AL-P16	10	29905	15,77
DCGT-11T304-AL-P07	10	29910	13,75	DCGT-070204-AL-P07	10	29903	12,59
DCGT-11T302-AL-P16	10	29908	18,09	DCGT-070202-AL-P16	10	29902	16,50
DCGT-11T302-AL-P07	10	29906	14,47	DCGT-070202-AL-P07	10	29901	13,17

FRESAS FRONTALES MANGO CILINDRICO

6644 FRESA DESBASTE FINO PMX DIN844NRF NZ



Imprimir

Medida		N. Art.	€	TIALN	N. Art TIALN	€ TIALN	Medida		N. Art.	€	TIALN	N. Art TIALN	€ TIALN
06,00 mm	1	45201	35,24	1	45529	40,96	20,00 mm	1	45216	98,70	1	45546	110,78
07,00 mm	1	23132	44,35	1	23140	50,50	22,00 mm	1	14815	120,44	1	14880	137,40
08,00 mm	1	45204	38,43	1	45532	44,77	25,00 mm	1	45219	146,18	1	45549	162,26
09,00 mm	1	23133	46,02	1	23141	52,87	28,00 mm	1	13223	160,39	1	12822	181,23
10,00 mm	1	45207	36,37	1	45535	43,53	30,00 mm	1	14817	194,58	1	14883	219,18
12,00 mm	1	45209	48,07	1	45537	55,92	32,00 mm	1	45717	213,40	1	45248	235,87
14,00 mm	1	45210	57,98	1	45538	66,62	SET 8-16 PMX	1	29059	194,63			
16,00 mm	1	45211	71,76	1	45540	81,78	SET 6-20 PMX	1	14904	464,64			
18,00 mm	1	45213	78,10	1	45543	89,42							

